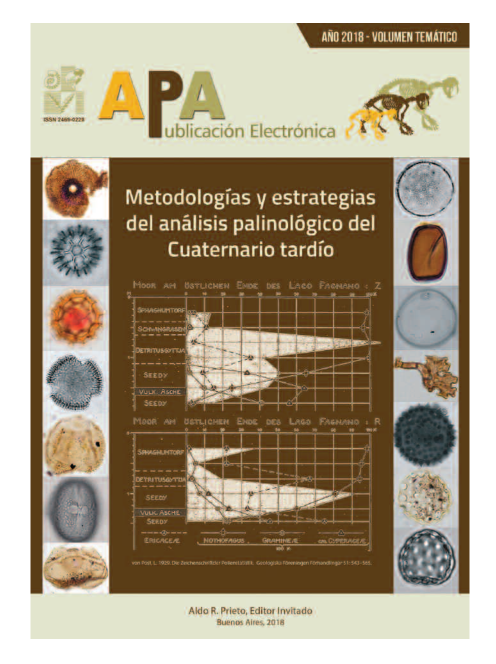


www.peapaleontologica.org.ar






# METODOLOGÍAS Y AVANCES DE LA PALINOLOGÍA DEL CUATERNARIO TARDÍO A LO LARGO DE LA DIAGONAL ÁRIDA SUDAMERICANA

MARÍA EUGENIA DE PORRAS[1,2]
ANTONIO MALDONADO[2,3]

[1]Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), CONICET-CCT Mendoza, Av. Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, 5500 Mendoza, Argentina.
[2]Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, Raúl Bitrán 1305, La Serena, Chile.
[3]Instituto de Investigación Multidisciplinario en Ciencia y Tecnología, Universidad de La Serena, Raúl Bitrán 1305, Chile.

**Para citar este artículo:** María Eugenia De Porras y Antonio Maldonado (2018). Metodologías y avances de la palinología del Cuaternario tardío a lo largo de la Diagonal Árida Sudamericana. En: A.R. Prieto (Ed.), *Metodologías y estrategias del análisis palinológico del Cuaternario tardío. Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina* 18 (2): 18–38.

**Link a este artículo:** http://dx.doi.org/10.5710/PEPAPA.08.07.2018.255

DESPLAZARSE HACIA ABAJO PARA ACCEDER AL ARTÍCULO

**Asociación Paleontológica Argentina**
Maipú 645 1° piso, C1006ACG, Buenos Aires
República Argentina
**Tel/Fax** (54-11) 4326-7563
**Web:** www.apaleontologica.org.ar

APA Publicación Electrónica
ISSN 2469-0228
Año 2018 - 18(2): 18–38
ARTÍCULO

# METODOLOGÍAS Y AVANCES DE LA PALINOLOGÍA DEL CUATERNARIO TARDÍO A LO LARGO DE LA DIAGONAL ÁRIDA SUDAMERICANA

MARÍA EUGENIA de PORRAS[1,2] Y ANTONIO MALDONADO[2,3]

[1]Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), CONICET-CCT Mendoza, Av. Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, 5500 Mendoza, Argentina. *medeporras@mendoza-conicet.gob.ar*; *meugenia.deporras@ceaza.cl*.

[2]Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, Raúl Bitrán 1305, La Serena, Chile.

[3]Instituto de Investigación Multidisciplinario en Ciencia y Tecnología, Universidad de La Serena, Raúl Bitrán 1305, Chile. *amaldonado@ceaza.cl*

**Resumen.** La Diagonal Árida Sudamericana (DAS) es un rasgo biogeográfico y climático que ha experimentado cambios importantes en los ambientes, en las plantas, en los animales e incluso en las poblaciones humanas como consecuencia de la dinámica climática durante el Cuaternario tardío. El objetivo de este trabajo es revisar el desarrollo de las investigaciones en palinología del Cuaternario tardío a lo largo de la DAS, analizar sus desafíos, destacar las metodologías aplicadas para obtener registros polínicos robustos en términos paleoambientales y paleoclimáticos y resaltar los avances logrados. La mayoría de las zonas de la DAS presentan una concentración importante de registros polínicos fósiles, pero resulta difícil todavía en algunas áreas generar marcos paleoclimáticos y paleoambientales desde el Pleistoceno Tardío o bien que comprendan todo el Holoceno a escala regional. Esto es consecuencia de que (1) la mayoría de los ambientes depositacionales son "no convencionales" y, por lo tanto, presentan discontinuidades, preservación diferencial del polen y representatividad diferencial de la vegetación local *versus* la regional lo que complejiza más el análisis de un registro polínico fósil, y (2) la dispersión polínica en las zonas áridas y semiáridas dominadas por vegetación arbustiva y herbácea (en su mayoría entomófila) ha sido escasamente estudiada. Sin embargo, a partir de casos de estudio en tres áreas de la DAS -el desierto de Atacama y los Andes mediterráneos de Chile y la meseta patagónica en Argentina- se demuestra el potencial que los registros polínicos de estas áreas tienen para reconstruir la dinámica paleoclimática desde el Pleistoceno Tardío de manera robusta y confiable, aplicando las metodologías apropiadas.

**Palabras clave.** Polen. Ambientes depositacionales. Pleistoceno. Holoceno. Zonas áridas y semiáridas. América del Sur.

**Abstract.** LATE QUATERNARY PALYNOLOGY METHODOLOGIES AND ADVANCES ON THE SOUTH AMERICAN ARID DIAGONAL. The South American Arid Diagonal (SAAD) constitutes a major biogeographic and climatic feature which has experimented significant changes in its environments, plants, animals and human societies due to the late Quaternary climatic dynamics. The aim of this paper is to review the development of Quaternary palynology studies on the SAAD, analyze the challenges, highlight the applied methodologies in order to obtain robust pollen records in palaeoenvironmental and palaeoclimatical terms and therefore, stress the achieved advances. Although most of the areas of the SAAD present a vast number of pollen records, it is still difficult to achieve regional paleoenvironmental and paleoclimatic framework for some areas since the Late Pleistocene or even the Holocene. This is based on the fact that (1) most of the depositional environments are not "standard" so they present discontinuities, differential pollen preservation and differential pollen representation of local *versus* regional vegetation which complicates the pollen analysis, and (2) the pollen dispersion processes in arid and semiarid zones dominated by shrubs and herbs (with many entomophilous species) are scarcely studied. However, taking study cases from three areas of the South American Arid Diagonal –Atacama Desert and Mediterranean Andes of Chile, and Patagonian plateau in Argentina– the potential of the pollen records from these areas to reconstruct the paleoclimatic dynamics since the Late Pleistocene can be demonstrated firmly and convincingly if appropriate methodologies are applied.

**Key words.** Pollen. Depositional environments. Pleistocene. Holocene. Arid and semi-arid zones. South America.

La Diagonal Árida Sudamericana (DAS) es una banda de ancho variable y gran extensión latitudinal que atraviesa el continente sudamericano en dirección noroeste-sudeste, desde el norte del Perú hasta las costas de la Patagonia argentina (Bruniard, 1982; Moreira-Muñoz, 2011; Fig. 1.1) que, como su nombre lo indica, se caracteriza por la aridez del clima y sus ambientes. Su delimitación geográfica ha sido difícil de establecer dependiendo del/los criterio/s (*e.g.*, climáticos,

florísticos, geomorfológicos) considerado/s (Bruniard, 1982; Garleff *et al.*, 1991; Veit y Garleff, 1995; Garleff y Stingl, 1998; Abraham *et al.*, 2000). En este trabajo hemos delimitado la DAS a partir de un criterio climático (Houston y Hartley, 2003) considerando aquellas áreas con valores de precipitación menores de 200 mm/año, con excepción de algunas zonas de los Andes Centrales de la Argentina y Chile (30°–34° S) donde los valores son mayores, pero el agua precipita en forma de nieve y por lo tanto, no está disponible para las plantas.

La DAS es un rasgo biogeográfico y climático que habría tenido origen en el Mioceno, desarrollándose paulatinamente hasta el Plioceno como consecuencia de la aridización de los subtrópicos, y el establecimiento de la corriente fría de Humboldt asociado a la glaciación de la Antártida y al levantamiento de la cordillera de los Andes (Villagrán e Hinojosa, 1997). Así, desde el Plioceno/Pleistoceno la DAS ha sido un rasgo característico de América del Sur si bien ha experimentado cambios significativos en los ambientes, en las plantas, en los animales e incluso en las poblaciones humanas debido a la dinámica del clima a escala global y regional durante el Cuaternario tardío (*e.g.*, Garleff *et al.*, 1991; Veit y Garleff, 1995; Schäbitz y Liebricht, 1998; Abraham *et al.*, 2000; Betancourt *et al.*, 2000; Nuñez *et al.*, 2002; Grosjean *et al.*, 2003; Mancini *et al.*, 2005; Marquet *et al.*, 2012; Latorre *et al.*, 2013; Nuñez *et al.*, 2013; Méndez *et al.*, 2015; de Porras *et al.*, 2017).

Este trabajo tiene como objetivo revisar el desarrollo de las investigaciones en palinología del Cuaternario tardío a lo largo de la DAS, analizar los desafíos que esta disciplina, a través de sus investigadores, tuvo que experimentar en estas zonas áridas y semiáridas, destacar las metodologías aplicadas para obtener registros polínicos interpretables en términos paleoambientales y paleoclimáticos y resaltar, finalmente, los avances logrados. Por otro lado, se presentan tres casos de reconstrucciones de la vegetación y el ambiente a partir de registros polínicos utilizando diferentes archivos y en tres zonas diferentes de la DAS con el objetivo de ejemplificar los principales puntos abordados en este trabajo.

### *Clima, ambiente y vegetación actual*

Actualmente el máximo de aridez de la DAS ocurre en el desierto de Atacama, el más árido del mundo, condiciones que se moderan a lo largo de la costa del Perú mientras que los ecosistemas semiáridos como el Monte o la Estepa Patagónica caracterizan la DAS en la Argentina. Estas condiciones son consecuencia de la interacción de las dos principales fuentes de precipitación en el centro-sur de América del Sur, la de lluvias de origen tropical (de verano) y las de origen extra-tropical (de invierno y/o verano dependiendo de la latitud), y el efecto de sombra de lluvias generado por la cordillera de los Andes (Fig. 1.1). Así, entre *ca.*11° S y 34° S, se genera un gradiente decreciente de precipitación este-oeste que da origen a las zonas áridas y semiáridas subtropicales de la DAS. Durante el verano, la humedad generada en la Amazonía como producto del aumento de la temperatura, que incrementa a su vez la convección en esta área, es transportada por una corriente en chorro hacia el oeste la cual es desviada hacia el sur al ser interceptada con la cordillera de los Andes. La humedad es depositada así al este de los Andes hasta *ca.* 26° S y trasportada hacia el oeste por los vientos superficiales del este (Fig. 1.1) (Garreaud *et al.*, 2003; Garreaud, 2009; Minvielle y Garreaud, 2011). Por otro lado, la poca humedad proveniente del Océano Pacífico, dada la escasa evaporación a nivel superficial por la presencia de la corriente fría de Humboldt y la subsidencia forzada del aire por la presencia del Anticiclón del Pacífico Subtropical, no es capaz de ingresar al continente por la altura del acantilado costero (1.000 m s.n.m.) que es superior a la de la capa de inversión térmica (800 m s.n.m.) (Rutland y Ulriksen, 1979; Garreaud *et al.*, 2002).

A los 34° S, el efecto de sombra de lluvia se invierte como consecuencia del cambio en el régimen y el origen de las lluvias (tropical a extra-tropical) y es a esta latitud donde la DAS "cruza" la cordillera de los Andes y se desarrolla al este de la misma, en las mesetas patagónicas (Fig. 1.1).

Al sur de los 34° S, el clima se caracteriza por un gradiente decreciente y mucho más abrupto de precipitación que hacia el norte y de dirección contraria, es decir, oeste-este (Fig. 1.1). Los frentes de tormenta asociados al sistema de los vientos del oeste (lluvias de origen extra-tropical) al ser interceptados por los Andes son forzados a subir en altura precipitando principalmente al oeste y sobre la cordillera. Así, al llegar a la vertiente este los frentes han perdido casi toda su humedad resultando en masas de aire

secas que recorren las estepas patagónicas (Garreaud, 2009; Garreaud *et al*., 2013; Viale y Garreaud, 2013).

Este dipolo este-oeste y oeste-este de sombra de lluvia al norte y al sur de los 34° S es uno de los principales responsables de la distribución y composición de la vegetación, con excepción de las zonas altoandinas donde adicionalmente la temperatura se vuelve el factor limitante para el desarrollo de las plantas. En términos muy generales, la mayoría de las unidades de vegetación desarrolladas en la DAS presentan baja cobertura y son estepas arbustivas a excepción de las comunidades altoandinas y las estepas de arbustos enanos que caracterizan a las mesetas altas (*ca.* 1.000 m s.n.m.) de la Patagonia (Fig. 1.2). Las provincias biogeográficas que forman parte de la DAS son la Altoandina, la del Desierto, la Puneña, la Prepuneña, la Chilena, la del Monte y la Patagónica (Cabrera y Willink, 1973) (Fig. 1.2). La provincia Altoandina se desarrolla sobre la cordillera de los Andes (> 4.200–3.000 m s.n.m.) y presenta gran extensión latitudinal. La vegetación se caracteriza por su escasa cobertura y predominan las gramíneas xerófilas (*e.g.*, *Aciachne*, *Anthocloa*) y dicotiledóneas rastreras o en cojín (*e.g.*, *Pycnoplyllum*, *Laccopetalum*, *Nototriche*, *Werneria*) (Fig. 2.1, 2). La provincia del Desierto comprende a los desiertos del Perú y el de Atacama (5°–30° S) y presenta (1) vegetación de Lomas que son comunidades costeras dominadas en muchos casos por *Tillandsia* spp. o por comunidades dominadas por especies del género *Nolana*, que sobreviven debido a la neblina costera (Rundell *et al*., 1991) (Fig. 2.3); (2) comunidades azonales dominadas por freatófitas como *Prosopis* spp., *Salix humboldtiana* Willdenow, *Schinus areira* L. asociadas a valles de ríos que atraviesan el desierto; (3) diferentes tipos de comunidades arbustivas que se desarrollan en la vertiente oeste de los Andes entre el límite superior del desierto absoluto (Fig. 2.4) y la Provincia Alto-

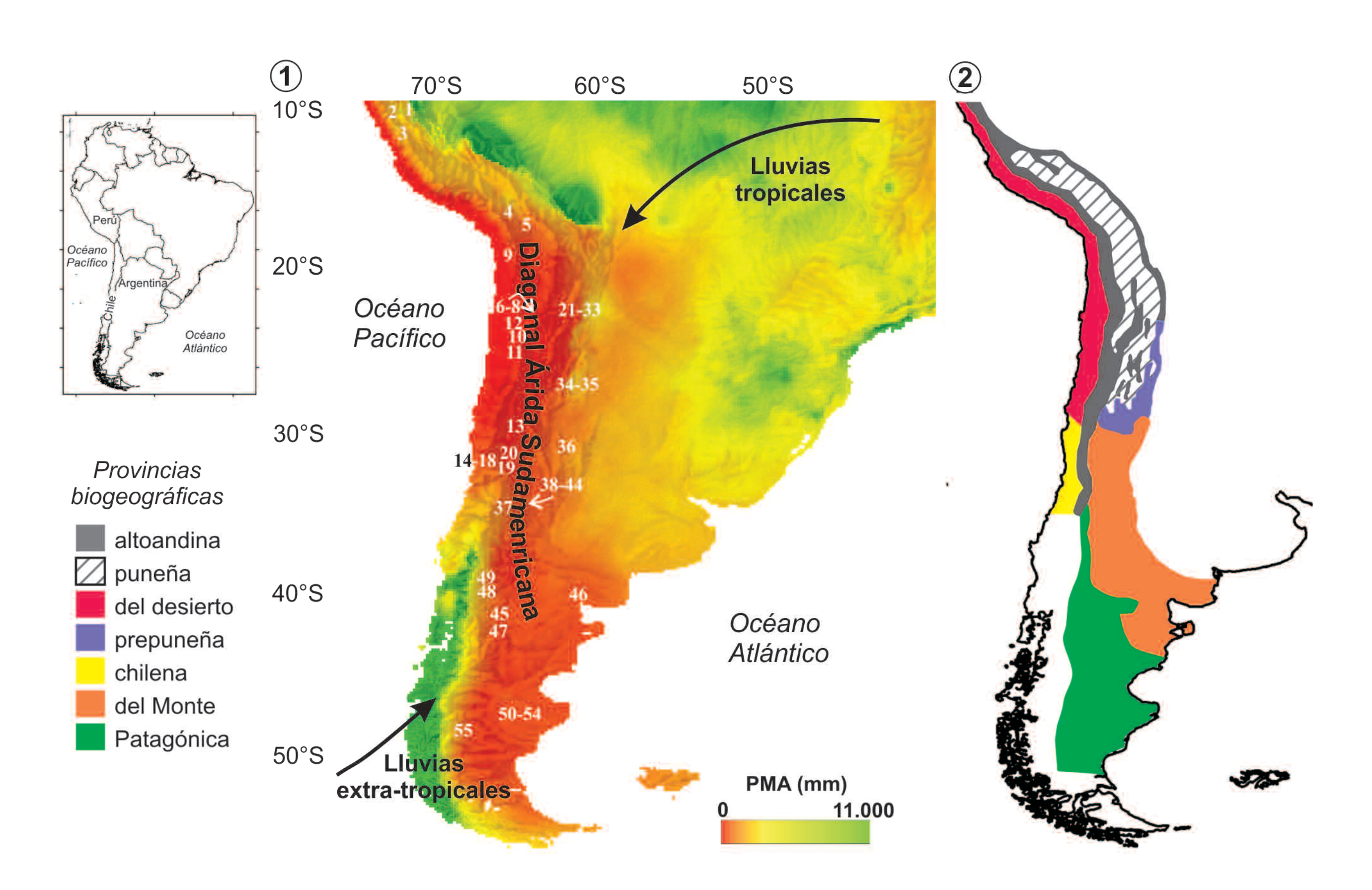



**Figura 1.** Mapa de América del Sur. **1,** Precipitación media anual (PMA) mostrando la Diagonal Árida Sudamericana (DAS), las fuentes de precipitación tropical y extra-tropical y los sitios incluidos en la Tabla 1. **2,** Unidades biogeográficas a lo largo de la DAS (modificado de Cabrera y Willink, 1973).




**Figura 2.** Diferentes unidades fisonómico-florísticas de la Diagonal Árida Sudamericana. **1,** Estepa altoandina (19° S); **2,** Estepa altoandina (33° S); **3,** Tilandsiales del desierto; **4,** Desierto absoluto; **5,** Prepuna; **6,** Puna; **7,** Monte; **8,** Estepa Patagónica.

andina (Villagrán *et al.*, 1983; Arroyo *et al.*, 1988; Fig. 1.1). Estas comunidades reciben el nombre de Puna y Prepuna en Chile y son estepas arbustivas dominadas por *Atriplex* spp. y diferentes géneros de la familia Cactaceae, en el primer caso, y *Baccharis* spp., *Senecio* spp. y *Parastrephia* spp. en el segundo (Villagrán *et al.*, 1983; Arroyo *et al.*, 1988; Figs. 2, 5, 6). Sobre el Altiplano y la vertiente este de los Andes, entre los 21° S y 30° S, se desarrollan las provincias Puneña (4.500-3.400 m s.n.m.) y Prepuneña (3.400-1.000 m s.n.m.) (Cabrera, 1971; Fig. 1.2). La Provincia Puneña se caracteriza por la presencia arbustos entre 0,40 y 1,50 m de altura (*e.g.*, *Fabiana densa* Remy, *Adesmia* spp., *Junellia seriphioides* Gillies & Hook. ex Hook., *Ephedra breana* Philippi, *Acantholippia hastulata* Griseb y geófitas asociadas a ellos durante la estación lluviosa (verano). La provincia Prepuneña es una comunidad arbustiva baja (*e.g.*, *Cassia crassiramea* Bentham, *Gochnatia glutinosa* D. Don, *Aphyllocladus spartioides* Wedd, *Caesalpinia trichocarpa* Griseb) y de escasa cobertura mezclada con cactáceas columnares (*Echinopsis* spp.) (Cabrera, 1971). Sobre la vertiente oeste de los Andes entre los 30° S y 34° S y por debajo de los 2.000 m s.n.m., la provincia Chilena se compone de diferentes tipos de matorrales esclerófilos distribuidos en bandas altitudinales desde la costa hasta los Andes (Cavieres *et al.*, 2000; Muñoz *et al.*, 2000; Luebert y Gajardo, 2004). Por debajo de los 1.500 m s.n.m., los matorrales se encuentran dominados por arbustos de *Haplopappus foliosus* DC., *Porlieria chilensis* I.M. Johnst., *Flourensia thurifera* Molina, *Colliguaja odorífera* Molina y *Heliotropium stenophyllum* Hook. & Arn. acompañados por diferentes especies de cactáceas. El piso Pre-Andino (1.500-2.000 m s.n.m.) se caracteriza por la presencia de arbustos y árboles como *Schinus polygamus* Cavanilles, *Colliguaja odorífera* Molina, *C. integerrima* Gillies & Hook, *Trevoa quinquinervia* Gillies & Hook y *Adesmia confusa* Ulibarri y presenta en su límite superior especies arbóreas como *Quillaja saponaria* Molina, *Schinus montanus* Philippi y *Kageneckia angustifolia* D. Don. Sobre los 2.000 m s.n.m., la vegetación pertenece a la provincia Altoandina y se distribuye también en pisos altitudinales denominados sub-Andino, Andino inferior y Andino superior (Cavieres *et al.*, 2000; Muñoz *et al.*, 2000; Luebert y Gajardo, 2004). Las estepas arbustivas que se distribuyen sobre los campos volcánicos y las mesetas al este de los Andes comprenden comunidades vegetales pertenecientes a las provincias del Monte y Patagónica, así como vegetación transicional entre ambas, presentando una gran diversidad en fisonomía y composición (León *et al.*, 1998; Roig, 1998; Fig. 1.2). El Monte (Provincia de Monte) es una comunidad arbustiva entre 0,5 y 1,5 m de altura dominada por *Larrea* spp. asociada a otros arbustos (*e.g.*, *Lycium*, *Chuquiraga*, *Prosopis*, *Ephedra*, *Gutierrezia*, *Verbena*, *Baccharis*, *Prosopidastrum*) y subarbustos (*e.g.*, *Accantholippia seriphioides* A. Gray, *Perezia recurvata* Vahl), hierbas y pastos (León *et al.*, 1998; Fig. 2.7). La estepa Patagónica presenta dos fisonomías principales que se corresponden con las estepas arbustivas de altura media y subarbustivas o eriales. Las

comunidades arbustivas se encuentran circunscriptas a áreas serranas y están dominadas por *Chuquiraga avellanedae* Lorentz, en el norte y por *Mulguraea tridens* Lag. en el sur (León *et al.*, 1998; Fig. 2.8). Las comunidades subarbustivas (Erial Patagónico) son un poco más homogéneas en toda la Patagonia y están dominadas por *Nassauvia axillaris* Lag. ex Lindl., *N. glomerulosa* Lag. ex Lindl. acompañadas de *Stillingia patagonica* Speg., *Haplopappus pectinatus* Philippi y *Schinus roigii* Ruiz Leal & Cabrera.

Una característica común de todas las plantas de las unidades de vegetación que forman parte de la DAS, y de las áreas áridas y semiáridas en general es la gran proporción de especies con síndrome de polinización entomófila (Horowitz, 1992). Esto es particularmente relevante para la palinología de estas zonas debido a que la producción de polen de las plantas con este síndrome es muy baja y, por lo tanto, se encontrarán sub-representadas en el registro polínico respecto de aquellas que tienen polinización anemófila (dispersan el polen por el viento).

### *Antecedentes de la palinología del Cuaternario tardío en la DAS*

El desarrollo de la palinología del Cuaternario tardío a lo largo de la DAS tiene más de 30 años, pero es relativamente discreto, aun cuando las zonas áridas y semiáridas fueron catalogadas como altamente sensibles a los cambios climáticos (Horowitz, 1992). La escasez de sitios adecuados para la preservación del polen en el tiempo, ha retardado el desarrollo de esta disciplina. Así, su historia climática y ambiental no se ha estudiado con la misma intensidad que en otras áreas de América del Sur, como los bosques templados del extremo sur, los pastizales pampeanos o los bosques tropicales (selvas). En principio, puede que esto se debiera a que las metodologías desarrolladas para el análisis polínico entre fines del siglo XIX y principios del XX en el norte de Europa fueron diseñadas para secuencias sedimentarias de lagos y turberas debido a la abundancia de estas cuencas en esa zona, y a las excelentes condiciones de preservación del polen en ellas (Erdtman, 1921, 1943; Manten, 1967; Fægri e Iversen, 1989). Sin embargo, estas metodologías no se adaptan a los sitios de muestreo más abundantes y disponibles en los ambientes áridos y semiáridos. En segundo lugar, las zonas áridas y semiáridas de la DAS generalmente son las menos pobladas o más distantes de las grandes ciudades, por lo que el acceso ya sea por distancia o bien por la falta de caminos ha sido probablemente más difícil y, por lo tanto, más tardío que para otras áreas. Así, desde 1980 comenzaron a desarrollarse diferentes estudios palinológicos (actuales y fósiles) a lo largo de la DAS, la mayoría de ellos concentrados en el Pleistoceno Tardío/Holoceno más que en todo el Cuaternario tardío (Fig. 1.1; Tab. 1).

En el extremo norte de la DAS (7°-18° S), el desarrollo de registros polínicos en zonas áridas y semiáridas del Perú es muy disperso, a tal punto que solamente existen unos pocos registros: (1) Laguna Baja (7,7° S; 3.575 m s.n.m.) que presenta los cambios climáticos y de vegetación de los Andes orientales del Perú durante los últimos 13.000 cal. años AP (Hansen y Rodbell, 1995); (2) Laguna Milloc (11,6° S; 4.325 m s.n.m.; Graf, 1992) que comprende desde el Pleistoceno Tardío hasta tiempos recientes; (3) Laguna Junín (11° S; 4.100 m s.n.m.), el más antiguo de todos, que representa 39.000 cal. años AP mostrando cambios de mayor magnitud durante el Último Máximo Glacial y la subsiguiente deglaciación, así como durante los últimos 1.200 cal. años AP relacionado al impacto humano (Hansen *et al.*, 1984); y (4) Cerro Llamoca (14° S; 4.450 m s.n.m.) que comprende todo el Holoceno (Schittek *et al.*, 2015). Sin embargo, en función del tiempo transcurrido desde sus análisis y publicación, algunos de estos registros (*e.g.*, Laguna Milloc) no cumplen con los estándares actualmente requeridos, debido al escaso control cronológico y/o a la baja resolución temporal del análisis polínico.

Hacia el sur, en el Altiplano chileno (18°-23° S), los primeros registros analizados fueron aquellos provenientes de grandes lagos salinos y no salinos como la Laguna Seca (18,2° S; Baied y Wheleer, 1993), las Lagunas Aguas Calientes I (23,1° S) y II (23,5° S; Graf, 1992), la Laguna Lejía (23,5° S; Grosjean, 1994) y la Laguna Miscanti (23,7° S; Grosjean *et al.*, 2001) (Fig. 1.1; Tab.1). Al igual que para el Perú, muchos de estos registros no presentan actualmente los estándares mínimos como para ser considerados en una discusión general de la dinámica climática de la DAS. De todos estos, los registros de polen de las lagunas Lejía y Miscanti son los que están actualmente vigentes, aunque ninguno muestra grandes cambios y son los indicadores

**TABLA 1 – Registros polínicos de la Diagonal Árida Sudamericana (DAS)**

| *Área* | *Sitio* | *Tipo de ambiente depositacional* | *Referencia* |
|---|---|---|---|
| *Perú* | *1. Laguna Baja* | *Laguna* | *Hansen y Rodbell, 1995* |
| | *2. Laguna Milloc* | *Laguna* | *Graf, 1992* |
| | *3. Laguna Junín* | *Laguna* | *Hansen* et al., *1984* |
| | *4. Vega Cerro Llamoca* | *Vega altoandina* | *Schittek* et al., *2015* |
| *Altiplano (Chile)* | *5. Laguna Seca* | *Laguna altoandina* | *Baied y Wheeler, 1993* |
| | *6. Laguna Aguas Calientes I y II* | *Lagunas altoandinas* | *Graf, 1992* |
| | *7. Laguna Miscanti* | *Laguna altoandina* | *Grosjean* et al., *2001* |
| | *8. Laguna Lejia* | *Laguna altoandina* | *Grosjean, 1994* |
| *Desierto de Atacama (Chile)* | *9. Quebrada La Higuera* | *Paleomadrigueras* | *Mujica* et al., *2015* |
| | *10. Quebrada del Chaco* | *Paleomadrigueras* | *Maldonado* et al., *2005* |
| | *11. Quebrada Juncal/Sierra del Buitre* | *Paleomadrigueras* | *Díaz* et al., *2012* |
| | *12. CDA/LdT/QZO/BB* | *Paleomadrigueras* | *de Porras* et al., *2017* |
| *Norte Chico (Chile)* | *13. Río Potrerillos* | *Paleomadrigueras* | *Rozas, 2012* |
| | *14. Quereo/Quintero* | *Bosque pantanoso* | *Villagrán y Varela, 1990* |
| | *15. Palo Colorado* | *Bosque pantanoso* | *Maldonado y Villagrán, 2006* |
| | *16. Puente Santa Julia/Quintero* | *Bosque pantanoso* | *Villa-Martínez y Villagrán, 1997* |
| | *17. Ñagué* | *Bosque pantanoso* | *Maldonado y Villagrán, 2002* |
| | *18. Santa Julia* | *Perfil expuesto/sitio arqueológico* | *Maldonado* et al., *2010* |
| | *19. Laguna Chepical* | *Laguna altoandina* | *Martel-Cea* et al., *2016* |
| | *22. Lagunas Grande y Chica* | *Lagunas altoandinas* | *Maldonado* et al., *2015* |
| *Puna (Argentina)* | *21. Lagunas de Yala* | *Lagunas altoandinas* | *Lupo* et al., *2006* |
| | *22. Tres Lagunas* | *Laguna altoandina* | *Schäbitz, 2000; Schäbitz* et al., *2001* |
| | *23. Abra de la Cruz* | *Laguna altoandina* | *Schäbitz, 2000; Schäbitz* et al., *2001* |
| | *24. Laguna Pululos* | *Laguna altoandina* | *Lupo* et al., *2007* |
| | *25. Laguna Blanca* | *Laguna altoandina* | *Torres* et al., *2016* |
| | *26. Lapao 2 y 5* | *Perfil expuesto/Vega* | *Oxman* et al., *2013; Tchilinguirian* et al., *2014; Oxman, 2015; Oxman* et al., *2016* |
| | *27. Pastos Chicos* | *Perfiles expuestos* | *Tchilinguirian* et al., *2014* |
| | *28. Vega Tuzgle* | *Vega* | *Schittek* et al., *2016* |
| | *29. El Aguilar* | *Vega* | *Markgraf, 1985* |
| | *30. Coranzuli* | *Vega* | *Stinnesbeck, 2014* |
| | *31. Barrancas* | *Perfil expuesto/Vega* | *Oxman, 2015* |
| | *32. Barro Negro* | *Perfil expuesto/Vega* | *Fernández* et al., *1991* |
| | *33. Yavi 7/ Palca 9* | *Perfiles expuestos/Vega* | *Kulemeyer y Lupo, 1998; Lupo ,1998; Schäbitz* et al., *2001; Kulemeyer, 2005* |
| | *34. Laguna Cotagua* | *Laguna altoandina* | *Kulemeyer* et al., *2013* |
| | *35. El Infiernillo* | *Perfil expuesto/Vega* | *Garralla, 2003* |

TABLA 1 – Continuación

| *Área* | *Sitio* | *Tipo de ambiente depositacional* | *Referencia* |
|---|---|---|---|
| *Cuyo (Argentina)* | *36. Salinas del Bebedero* | *Salina* | *Rojo, 2003; Rojo* et al., *2012b* |
| | *37. Salado/Salina 2* | *Vega altoandina* | *Markgraf, 1983* |
| | *38. Gruta del Indio* | *Sitio Arqueológico (cueva)* | *D'Antoni, 1983; Paez* et al., *2010* |
| | *39. Arroyo La Estacada* | *Secuencias aluviales* | *Rojo, 2009; Rojo* et al., *2012a; Paez* et al., *2010; Navarro* et al., *2012* |
| | *40. Vega de las Herraduras* | *Vega* | *Srur, 2002; Navarro* et al., *2012* |
| | *41. Agua de la Cueva* | *Sitio Arqueológico (cueva)* | *Paez* et al., *2010; Navarro* et al., *2012* |
| | *42. La Guevarina/ Villa Atuel* | *Secuencia aluvial* | *Paez* et al., *2010; Guerci, 2016* |
| | *43. Agua Buena* | *Secuencia aluvial* | *Navarro* et al., *2010, 2012; Paez* et al., *2010* |
| | *44. Laguna El Sosneado* | *Laguna* | *Navarro* et al., *2010, 2012* |
| *Patagonia Norte* | *45. Laguna Cari Laufquén Chica* | *Laguna* | *Schäbitz, 1999; Schäbitz y Liebricht, 1998* |
| | *46. Salinas del Gualicho I y II* | *Salinas* | *Schäbitz, 1999* |
| | *47. Campo Moncada 2* | *Sitio Arqueológico (alero)* | *Paez, 1991* |
| | *48. Cueva Epullán Grande* | *Sitio Arqueológico (cueva)* | *Prieto y Stutz, 1996* |
| | *49. Valle Encantado/La Primavera* | *Paleomadrigueras* | *Markgraf* et al., *1997* |
| *Patagonia Sur* | *50. Los Toldos C3/C13/C1* | *Sitio arqueológico (cuevas)* | *Paez* et al., *1999; de Porras* et al., *2008, 2009; Prieto* et al., *2018* |
| | *51. La María CCM/ CT* | *Sitio arqueológico (cuevas)* | *de Porras, 2010* |
| | *52. Alero Cárdenas* | *Sitio arqueológico (alero)* | *Mancini, 1998* |
| | *53. Cueva La Martita* | *Sitio arqueológico (cuevas)* | *Mancini, 1998* |
| | *54. Piedra Museo* | *Sitio arqueológico (alero)* | *Borromei, 2003* |
| | *55. Lago Cardiel* | *Lago* | *Markgraf* et al., *2003* |

sedimentológicos los de mayor relevancia paleoambiental y paleoclimática. Aun cuando estos lagos fueron considerados sitios ideales para la reconstrucción del clima en esta área, el gran tamaño de estas cuencas con grandes áreas de captación de polen no permitió reflejar claramente cambios en las comunidades vegetales a escala local y regional. Por otro lado, las cronologías de estos registros polínicos resultaron ser poco precisas debido al fuerte efecto reservorio sobre las fechas radiocarbónicas que existe generalmente en estas cuencas altoandinas.

Sobre la ladera oeste de los Andes (18°-30° S), en las últimas décadas, la historia paleoambiental y paleoclimática del desierto de Atacama ha sido estudiada a partir del registro de macrorrestos vegetales preservado en paleomadrigueras de roedores (*e.g.*, Betancourt *et al.*, 2000; Latorre *et al.*, 2002, 2003) mientras que el análisis polínico en estos mismos archivos es relativamente reciente (Maldonado *et al.*, 2005; Díaz *et al.*, 2012; Mujica *et al.*, 2015; de Porras *et al.*, 2017; Fig. 1.1; Tab. 1). Esto se debe a que el análisis de paleomadrigueras en el desierto de Atacama fue aplicado de la misma manera que sobre los *packrat middens* (paleomadrigueras construidas por roedores del género *Neotoma*) de América del Norte, en los cuales el registro polínico no reflejaba efectivamente el ambiente donde la madriguera había sido construida (King y Van Devender, 1977; Thompson, 1985; Davis y Anderson, 1987; Anderson y Van Devender, 1991). Sin embargo, el registro polínico de madrigueras de roedores en la Quebrada del Chaco (25,5° S), en el desierto de Atacama (Maldonado *et al.*, 2005) fue el primero que permitió reconstruir la dinámica climática y am-

biental del sur del desierto desde 50.000 cal. años AP y su relación con los sistemas de precipitación tanto tropical como extra-tropical. A partir de este estudio, el registro polínico de paleomadrigueras se ha convertido en un indicador fundamental y complementario de otros *proxies* analizados en las madrigueras (*e.g.*, macrorrestos vegetales, cutículas, ADN fósil) para las reconstrucciones de los ambientes y el clima del Cuaternario tardío entre los 18° S y 30° S (Díaz *et al.*, 2012; Mujica *et al.*, 2015; de Porras *et al.*, 2017) (Fig. 1.1; Tab. 1). Recientemente de Porras *et al.* (2015) demostraron, a través de un análisis de polen de madrigueras actuales del desierto de Atacama, que las asociaciones polínicas preservadas en ellas reflejan la vegetación de manera mucho más balanceada que los espectros polínicos de muestras superficiales.

Sobre la ladera este de los Andes (22-27° S), en el noroeste argentino, la dinámica paleoambiental desde el Pleistoceno Tardío ha sido estudiada sobre la base de registros polínicos de lagunas, perfiles expuestos de sucesiones aluviales e inclusive testigos sedimentarios del fondo de valles desde la década de 1980 (Fig. 1.1; Tab. 1). Estos estudios han demostrado el potencial de las sucesiones aluviales para la reconstrucción del paisaje y el clima del Cuaternario tardío a diferentes escalas espaciales y temporales (Lupo *et al.*, 2018 y bibliografía allí citada). Los registros polínicos de las vegas altoandinas también constituyen un archivo paleoclimático ampliamente distribuido y utilizado en esta región (*e.g.*, Markgraf, 1985; Stinnesbeck, 2014; Oxman, 2015) y ha sido complementado con el análisis de indicadores sedimentológicos e isotópicos (Schittek, 2014; Schittek *et al.*, 2016).

En la región centro-oeste de la Argentina (32°-35° S), la primera síntesis paleoambiental regional para los últimos 12.000 cal. años, fue realizada por Markgraf (1983) a partir del registro polínico del sitio arqueológico Gruta del Indio (35° S, 670 m s.n.m.; D'Antoni, 1983) y de dos registros de vegas andinas: Salado (35° S; 3.100 m s.n.m.) y Salina 2 (32° S; 2.000 m s.n.m.) (Fig. 1.1; Tab. 1). Aun cuando el análisis polínico de estos registros era de baja resolución y carecían de un control cronológico exhaustivo, este esquema permaneció vigente hasta que, recién 20 años después, se retomaron intensivamente las investigaciones en esta área. Así, se comenzaron a analizar en la cordillera y pre-cordillera (< 3.000 m s.n.m.), sucesiones aluviales (terrazas, abanicos aluviales; Rojo *et al.*, 2012a; Navarro *et al.*, 2010) y secuencias arqueológicas (Paez *et al.*, 2010) junto con testigos sedimentarios de lagos salinos (Rojo *et al.*, 2012b), lagunas (Navarro *et al.*, 2010) y vegas (Srur, 2002), cuyos resultados principales fueron compilados en Paez *et al.* (2010) y Navarro *et al.* (2012) (Fig. 1.1; Tab. 1). De acuerdo con estos autores, aún con los nuevos registros analizados, no es posible proponer un nuevo esquema paleoambiental dado que son muy escasos y diversos, en particular entre 10.000 y 6.000 cal. años AP.

En la ladera oeste de los Andes (29°-32° S), los registros polínicos sobre los cuales se basa el conocimiento actual de la dinámica ambiental del Cuaternario tardío han sido aquellos de los bosques pantanosos (Villagrán y Varela, 1990; Villa-Martínez y Villagrán, 1997; Maldonado y Villagrán, 2002, 2006) (Fig. 1.1; Tab. 1). Solamente existe en esta área un registro polínico de madrigueras de roedores que abarca el Holoceno (Río Potrerillos, 29° S; Rozas, 2012) y, recientemente, se están analizando los primeros registros polínicos de lagos altoandinos con excelentes resultados en términos de paleoambientales y paleoclimáticos desde el Pleistoceno Tardío (15.000 cal. años AP) con un excelente control cronológico (Maldonado *et al.*, 2015; Martel-Cea *et al.*, 2016) (Fig. 1.1; Tab. 1).

En la Patagonia argentina, extremo sureste de la DAS, se cuenta con numerosos registros polínicos provenientes en su mayoría de sitios arqueológicos y en menor medida de lagunas saladas, grandes lagos y paleomadrigueras de roedores (Fig. 1.1; Tab. 1). En la Patagonia norte (39-46° S), los registros polínicos de la Laguna Cari Laufquén Chica (Schäbitz y Liebricht, 1998; Schäbitz, 1999) junto con las salinas del Gualicho I y II (Schäbitz, 1999) y los sitios arqueológico Cueva Epullán Grande (Prieto y Stutz, 1996) y Campo Moncada (Paez, 1991) permitieron establecer la historia paleoambiental de las comunidades semiáridas de las mesetas extra-andinas durante todo el Holoceno (Fig. 1.1; Tab. 1). Además, el registro polínico de dos series de paleomadrigueras del Holoceno Medio-Tardío (La Primavera y Valle Encantado; Markgraf *et al.*, 1997), el primero de paleomadrigueras de roedores en América del Sur, reveló detalles sobre la dinámica del ecotono bosque Subantártico-estepa Patagónica, con un cambio principal a *ca.* 1.800

cal. años AP cuando el bosque fue reemplazado por una estepa arbustiva abierta.

La mayoría de los registros polínicos disponibles en la Patagonia sur (47-49° S) proviene de sitios arqueológicos con excepción del registro lacustre del Lago Cardiel (Fig. 1a; Tab. 1). Todos los sitios arqueológicos estudiados se encuentran en la Meseta Central de Santa Cruz (*e.g.*, Los Toldos, La María, La Martita, Alero Cárdenas, Tab. 1) dado que esta área presenta secuencias sedimentarias con evidencias de la presencia de ocupaciones humana tempranas para América del Sur y que datan del Pleistoceno Tardío (*ca.* 13.000 cal. años AP). Así, los registros fósiles de esta área permitieron no solo reconstruir la dinámica paleoambiental de las estepas semiáridas del sur de Patagonia desde el Pleistoceno Tardío sino dar el contexto ambiental a las ocupaciones humanas desde entonces (*e.g.*, Prieto *et al.*, 2018 y bibliografía allí citada). Por otro lado, el registro *multiproxy* del Lago Cardiel ha sido un referente para el área, aunque la secuencia polínica no muestra cambios significativos durante el Holoceno y han sido los indicadores sedimentológicos los más importantes en términos paleoambientales y paleoclimáticos (Markgraf *et al.*, 2003). Al igual que para los lagos del Altiplano, el gran tamaño del Lago Cardiel implica un área de captación de polen muy grande que sumado a que gran parte de las plantas de las estepas arbustivas que lo rodean presentan polinización entomófila, resulta en un sitio poco sensible para registrar los cambios de la vegetación a escala local y regional.

## AMBIENTES DE DEPOSITACIÓN Y METODOLOGÍAS DEL ANÁLISIS POLÍNICO EN LA DAS

Tal como se ha mencionado en la sección de antecedentes, las zonas áridas y semiáridas de la DAS presentan pocos registros convencionales, como lagos y turberas, analizados en palinología del Cuaternario tardío y para los cuales fueron desarrolladas originalmente las metodologías de esta disciplina. En estas zonas, sin embargo, existen múltiples archivos "no convencionales" con un alto potencial para estudiar la dinámica ambiental y climática del pasado. Estos han presentado un desafío al momento de interpretar su señal polínica en términos paleoambientales y paleoclimáticos, para lo cual se han desarrollado nuevas metodologías o bien adaptado las metodologías tradicionales.

Las teorías de dispersión polínica planteadas para ecosistemas con vegetación dominada por árboles y cuencas de depositación como lagos (Prentice, 1985, 1988; Sugita, 1993; Sugita *et al.*, 1999) no puede aplicarse a ninguna de las zonas de la DAS porque (1) la vegetación está principalmente dominada por comunidades arbustivas, subarbustivas (arbustos en cojín) y herbáceas (incluidas las gramíneas); (2) muchas de las especies de estas comunidades vegetales presentan síndrome de polinización entomófila y; (3) la mayoría de los ambientes depositacionales disponibles a lo largo de la DAS son cuevas, paleomadrigueras, vegas u otro tipo de humedales. La dispersión polínica actual en relación con la vegetación a lo largo de la DAS solo ha sido estudiada en la Patagonia norte de Argentina, a partir de muestras de sedimento superficial y el análisis de curvas isopolínicas (Paez *et al.*, 2001). Sin embargo, varios estudios han explorado la relación polen-vegetación regional a lo largo de gradientes climáticos para entender cómo se encuentran representadas actualmente estas comunidades vegetales a través de su señal polínica (*e.g.*, Schäbitz, 1989, 1999; Mancini, 1993, 1998; Burry *et al.*, 2005; Navarro *et al.*, 2010; Collao-Alvarado *et al.*, 2015; Maldonado *et al.*, 2016; de Porras *et al.*, 2017). Además de estos estudios, otros han desarrollado *sets* de calibración polen/clima actual en el sur de América del Sur con el objetivo final de reconstruir cuantitativamente determinadas variables climáticas (*e.g.*, temperatura de verano/invierno, precipitación media anual y de verano) a partir de registros polínicos fósiles (Markgraf *et al.*, 2002; Tonello *et al.*, 2009; Schäbitz *et al.*, 2013). Si bien estos trabajos incorporaron muestras polínicas de sedimento superficial de las zonas áridas y semiáridas, los registros polínicos fósiles sobre los cuales se realizaron las reconstrucciones cuantitativas se encuentran ubicados fuera de la DAS (*e.g.*, ecotono bosque Subantártico-estepa graminosa, bosque Valdiviano) y por lo tanto no fueron considerados en este trabajo.

Aunque los análogos actuales deberían provenir del mismo ambiente depositacional que el registro polínico fósil (Birks y Gordon, 1985), las muestras de superficie (o suelo superficial) han sido las más utilizadas con este propósito en diferentes zonas de la DAS sin importar el tipo de regis-

tro fósil a interpretar (*e.g.*, Mancini, 1998; Schäbitz, 1999; González-Silvestre *et al.*, 2013). Solamente en el norte de Chile, la relación polen/vegetación a escala regional se ha establecido, además, a partir de muestras de madrigueras actuales de roedores (sin consolidar o en formación) a lo largo de gradientes ambientales (de Porras *et al.*, 2017) dado que actualmente el registro polínico fósil más utilizado en el desierto de Atacama son las paleomadrigueras. De hecho, un análisis conjunto de la vegetación y su señal polínica en muestras de superficie y de madrigueras actuales en diferentes comunidades vegetales del norte de Chile demostró que la señal polínica de las madrigueras proveen un reflejo mucho más balanceado (polen de plantas con polinización anemófila *versus* entomófila) de la vegetación respecto de las muestras de superficie dado el gran número de plantas con polinización entomófila en la flora del desierto y las combinación de las vías de depositación (viento, roedores) y escala espacial (local/regional) del polen en las madrigueras respecto de las muestras de superficie (viento/regional). A escala local, diferentes autores han investigado la relación polen-vegetación de ambientes fluviales (Rojo, 2009; Navarro *et al.*, 2010), cañadones (de Porras, 2010), en valles montanos (Torres *et al.*, 2011) y la dispersión de polen en el interior de cuevas (de Porras *et al.*, 2011), las cuales han sido fundamentales para realizar una correcta interpretación de los registros polínicos fósiles (Rojo *et al.*, 2012a; Torres *et al.*, 2016) ya que pudieron diferenciar la señal polínica de la vegetación zonal/azonal o local/regional.

**Tabla 2 – Ventajas y desventajas de los diferentes ambientes depositacionales utilizados para el análisis polínico fósil en diferentes zonas de la Diagonal Árida Sudamericana**

| *Ambiente depositacional* | *Ventajas* | *Desventajas* |
|---|---|---|
| *Lagos/Lagunas Altoandinas* | *Secuencias continuas* | *Escases de material para dataciones radiocarbónicas*<br>*Efecto reservorio en dataciones radiocarbónicas*<br>*Baja concentración polínica*<br>*Gran tamaño de cuencas (a veces)* |
| *Vegas altoandinas* | *Secuencias continuas (a veces)*<br>*Mucho material para dataciones radiocarbónicas* | *Disturbio por actividad de microorganismos y raíces*<br>*Hiatos depositacionales por desecación*<br>*Sesgos polínicos por crecimiento de plantas* in situ |
| *Bosques pantanosos* | *Secuencias continuas*<br>*Mucho material para dataciones radiocarbónicas* | *Disturbio por actividad de microorganismos y raíces*<br>*Sesgos polínicos por crecimiento de plantas* in situ |
| *Paleomadrigueras* | *Excelentes condiciones de preservación*<br>*Alta concentración polínica*<br>*Mucho material para dataciones radiocarbónicas* | *Registros discontínuos*<br>*Tiempo de formación desconocido (años, décadas?)*<br>*Probables sesgos polínicos por conducta del roedor* |
| *Sitios Arqueológicos (cuevas/aleros)* | *Excelentes condiciones de preservación* | *Secuencias discontinuas*<br>*Disturbio/sesgos polínicos por actividad humana y animal*<br>*Hiatos depositacionales* |
| *Sucesiones/abanicos aluviales* | *Muy abundantes y potentes* | *Secuencias discontinuas*<br>*Tasa de depositación variable*<br>*Presencia intermitente y/o escasa de material para datar* |
| *Lagunas salinas y/o someras* | *Secuencias continuas (a veces)* | *Hiatos depositacionales por desecación o erosión*<br>*Baja concentración polínica*<br>*Gran tamaño de cuencas (a veces)* |

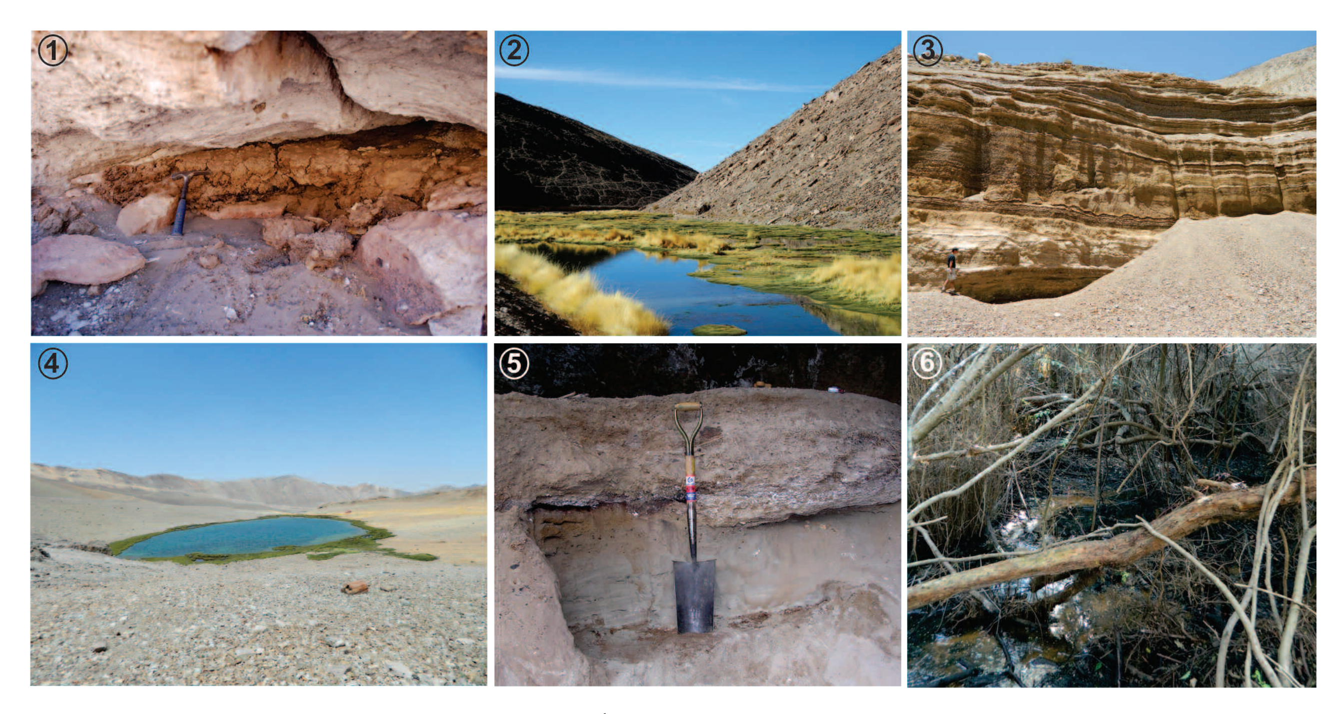


**Figura 3.** Ambientes depositacionales a lo largo de la Diagonal Árida Sudamericana **1,** Paleomadriguera; **2,** Vega altoandina; **3,** Perfil expuesto; **4,** Laguna altoandina; **5,** Secuencia sedimentaria de sitio arqueológico; **6,** Bosque pantanoso.

Los archivos ambientales más abundantes en la DAS son registros discontinuos (exceptuando lagos y lagunas), con tasas de depositación variables (depósitos aluviales, vegas y cuevas) y/o desconocidas (paleomadrigueras de roedores) y condiciones diferenciales de preservación (depósitos aluviales y cuevas) (Tab. 2; Fig. 3). Esto ha generado la necesidad de estudiar la tafonomía polínica en estos registros para detectar probables sesgos y así realizar reconstrucciones robustas y confiables. Así, junto con el estudio de la relación polen-vegetación a escala local se han estudiado las vías de depositación polínica (viento, agua, humanos, animales, gravedad por plantas creciendo sobre o cerca) y la preservación del polen a lo largo de las secuencias (*e.g.*, de Porras, 2010; Rojo *et al.*, 2012a; Prieto *et al.*, 2018). Además, dado el carácter discontinuo de la mayoría de estos registros, en muchos de los casos se requiere de un control cronológico exhaustivo de las secuencias lo que resulta difícil en algunos casos por la escasez de material orgánico sobre el cual realizar dataciones radiocarbónicas (*e.g.*, sucesiones aluviales, cuevas; Tab. 2) y/o en otros por una limitante económica. Por ejemplo, las sucesiones aluviales presentan grandes cambios en la tasa de sedimentación representados por niveles de clastos o arena gruesa con escaso material orgánico para datar, intercalados con niveles de limos y arcillas donde el contenido de materia orgánica aumenta sustancialmente (Paez *et al.*, 2010; Navarro *et al.*, 2012; Rojo *et al.*, 2012a). Por el contrario, en el caso de las paleomadrigueras, el material orgánico (fecas, restos de plantas e insectos) es abundante, pero se debe fechar cada una de ellas para obtener una serie temporal completa (> 20 madrigueras) lo que implica una inversión económica importante (Betancourt y Saavedra, 2002; Maldonado *et al.*, 2005). El carácter discontinuo de muchas de las secuencias disponibles permite en muchos casos obtener solo registros para algunas ventanas temporales, por lo que en la mayoría de las zonas de la DAS, es necesario obtener varios registros para poder extrapolar las inferencias a escala local y aún más a escala regional. Aun así, a veces es difícil que estos sean considerados confiables, aunque la dirección y sincronía de los cambios ambientales y climáticos sean concordantes.

Por otro lado, las muestras de las secuencias polínicas "continuas" de lagos o lagunas altoandinas frecuentemente presentan un efecto reservorio (Tab. 2), es decir, contaminación con carbono más antiguo por exposición subaérea de los sedimentos (por desecación parcial) o por lavado/

erosión de rocas antiguas presentes en la cuenca y ricas en carbonatos que se incorporan al lago/laguna (Geyh *et al.*, 1998, 1999). Dado que el material orgánico es escaso en este tipo de cuencas por tratarse de ambientes poco productivos, las cronologías radiocarbónicas se realizan sobre muestras de sedimento (material límnico) y por lo tanto las edades obtenidas suelen resultar mucho más antiguas (Geyh *et al.*, 1998, 1999). Diferentes estudios han tratado de controlar el efecto reservorio en las cronologías datando la interface agua-sedimento de los lagos y las lagunas altoandinas y substrayendo este lapso a las demás fechas, aunque esto solo es válido si asumimos que el efecto reservorio fue constante en el tiempo. Otros han desarrollado, además, cronologías independientes a las radiocarbónicas, basadas en $^{210}$Pb (Martel-Cea *et al.*, 2016) o bien en paleomagnetismo (Tinner *et al.*, 2018), lo que ha permitido tener un mejor control cronológico de las secuencias. Por otro lado, algunos registros de lagos y lagunas altoandinas, sobre todo aquellos del Norte Chico (Chile) y Cuyo (Argentina), presentan una limitante temporal ya que no son más antiguas que el Pleistoceno Tardío (15.000-18.000 cal. años AP) dado que las áreas más elevadas de los Andes estuvieron cubiertas por glaciares durante el Último Máximo Glacial.

## CASOS DE ESTUDIO

A continuación, se presentan tres ejemplos de reconstrucción de la dinámica paloeambiental y paleoclimática desarrollados en tres zonas diferentes de la DAS y sobre la base de registros polínicos de diferentes archivos naturales: el desierto de Atacama y los Andes mediterráneos de Chile y la meseta patagónica en la Argentina. Los registros del primer y segundo caso se encuentran publicados (Martel-Cea *et al.*, 2016; de Porras *et al.*, 2017), mientras que el tercero, solamente ha sido publicado parcialmente por Paez *et al.* (1999), de Porras *et al.* (2008, 2009) y Prieto *et al.* (2018).

### *Paleoambientes del desierto de Atacama*

En el desierto de Atacama, los cambios en la vegetación se reflejan principalmente como desplazamientos altitudinales de las unidades de vegetación (de menor a mayor altura: Prepuna, Puna, Estepa Altoandina; ver sección Clima, ambiente y vegetación actual) principalmente en relación con las lluvias de origen tropical (verano). Si aumenta (disminuye) la precipitación, los pisos de vegetación (o algunos elementos de ellos) descienden (ascienden) en altitud por la ladera oeste de los Andes y estos movimientos son posibles de explorar a través del registro polínico. A partir de esto y con el objetivo de estudiar la dinámica paleoambiental y paleoclimática de la zona centro del desierto de Atacama (23°-25° S) desde el Pleistoceno Tardío, de Porras *et al.* (2017) analizaron los registros polínicos de cuatro series de madrigueras fósiles (Cerros de Aiquina, CDA; Lomas de Tilocalar, LdT; Quebrada Zorras, QZO y Barrancas Blancas; BB) ubicadas a diferente latitud y altitud, en la Prepuna (Fig. 4). Estos registros polínicos fueron interpretados en términos de vegetación (y a partir de esta, el clima) utilizando las relaciones polen de madrigueras-vegetación actual establecidas a lo largo de dos transectas (22° S y 24° S) del área de estudio (de Porras *et al.*, 2017). Los registros polínicos mostraron condiciones mucho más húmedas que las actuales entre 16.000 y 11.000 cal. años AP en la zona centro del desierto de Atacama evidenciadas por desplazamientos descendientes de la vegetación de *ca.* 300-400 m en altura asociadas a la ocurrencia de las fases pluviales de los Andes Centrales (*Central Andean Pluvial Phase*) CAPE I (17.500-14.200 cal. años AP) y CAPE II (13.800-9.700 cal. años AP), previamente descriptas para la región a partir de otros registros e indicadores como macrorrestos vegetales de las mismas series de madrigueras, niveles freáticos de paleohumedales y paleovertientes y niveles de lagos del Altiplano (Betancourt *et al.*, 2000; Latorre *et al.*, 2002, 2003, 2006; Rech *et al.*, 2002; Maldonado *et al.*, 2005; Quade *et al.*, 2008; Gayó *et al.*, 2012a,b; Sáez *et al.*, 2016). Estas condiciones prevalecieron durante el Holoceno Temprano (11.000-8.500 cal. años AP) pero fueron cambiando gradualmente hacia escenarios cada vez más secos hasta establecerse condiciones hiperáridas (más áridas que el presente) durante el Holoceno Medio, evidenciado a su vez en el registro arqueológico a través del evento de discontinuidad ocupacional denominado "silencio arqueológico" (Nuñez *et al.*, 2002, 2013). Alrededor de 4.000 cal. años AP, todas las series de paleomadrigueras muestran el establecimiento de condiciones similares a las actuales en esta zona del desierto de Atacama. Las evidencias ambientales e inferencias climáticas del registro polínico de paleomadrigueras de la zona centro del desierto de Atacama son con-

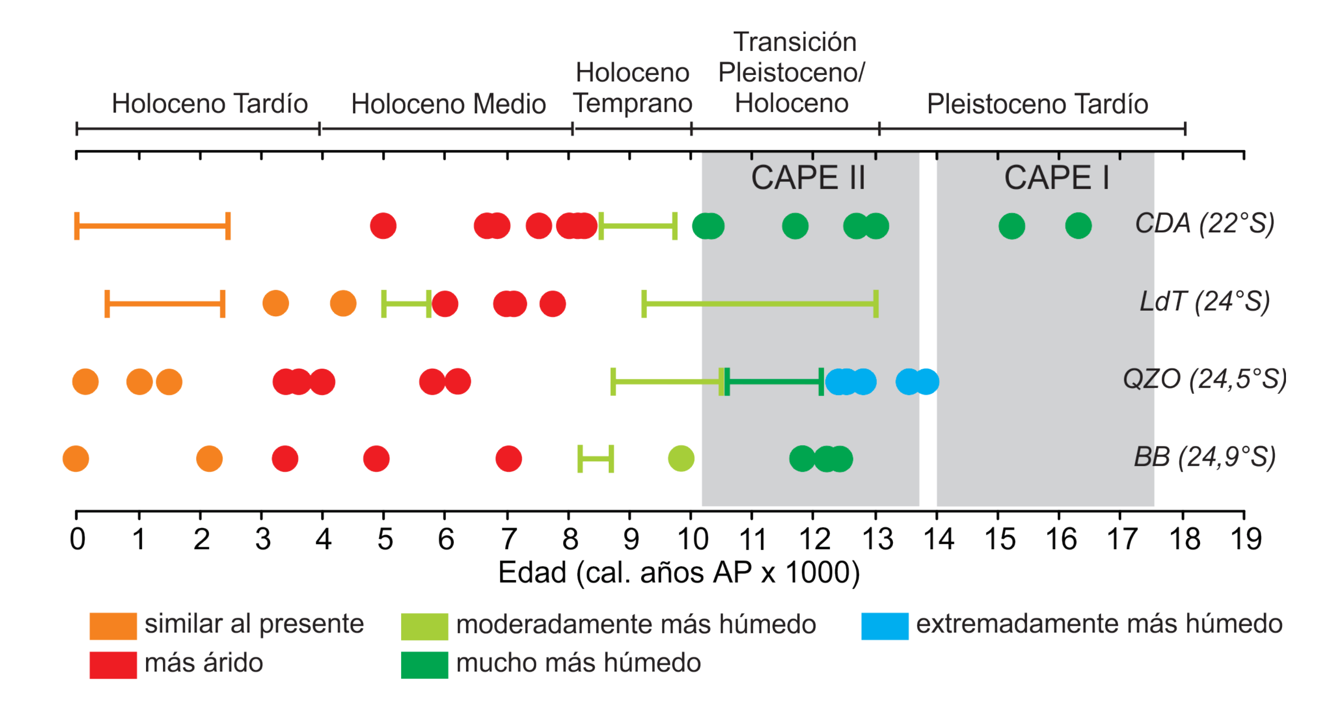



**Figura 4.** Cambios de las condiciones ambientales en el centro del desierto de Atacama inferidos a partir del análisis polínico de cuatro series de madrigueras de roedores fósiles del desierto de Atacama: Cerros de Aiquina (CDA), Lomas de Tilocalar (LdT), Quebrada Zorras (QZO) y Barrancas Blancas (BB) (modificado de de Porras *et al.*, 2017).

cordantes con aquellas previamente obtenidas a escala regional demostrando el potencial de este tipo de registros en términos paleoambientales y paleoclimáticos.

### *Paleoclima en ambientes altoandinos de los Andes mediterráneos (Chile)*

A diferencia de los lagos del Altiplano, los de los Andes mediterráneos (Chile) son la principal fuente de información paleoclimática en esta zona. No solo son numerosos, sino que además presentan excelentes condiciones de preservación y registros sedimentarios finamente laminados que, en algunos casos, datan del Pleistoceno Tardío (15.000 cal. años AP) (Maldonado *et al.*, 2015). Sin embargo, su estudio es relativamente reciente dado probablemente a las dificultosas vías de acceso (a veces varias horas a caballo), a la posibilidad de acceder solo estacionalmente (primavera-verano) en ausencia de nieve y a las difíciles condiciones de muestreo que ofrece el clima en la alta cordillera. Esta área de la DAS resulta particularmente importante en términos paleoclimáticos ya que se encuentra bajo la influencia de las tormentas de invierno asociadas al borde norte del sistema de vientos del oeste. Por otro lado, el agua de la cual dependen las sociedades de una de las áreas más densamente pobladas de Chile para el consumo y el desarrollo de las actividades económicas (*e.g.*, agricultura, ganadería) proviene de esta parte de los Andes, por lo que entender la dinámica natural de la precipitación a diferentes escalas temporales resulta fundamental en términos del presente escenario de cambio climático.

El análisis palinológico de la Laguna Chepical (Fig. 5), una laguna altoandina del norte de Chile (33° S; 3.000 m s.n.m.), se realizó a partir del análisis de testigos cortos de sedimento extraídos con un muestreador UWITEC desde un bote tipo Zodiac. La cronología de los testigos se estableció a partir de un modelo de edad/profundidad desarrollado con el paquete Bacon de R (Blaauw y Christen, 2011) basado en cinco dataciones radiocarbónicas calibradas utilizando la curva del Hemisferio Sur (SHCal13; Hogg *et al.*, 2013) con el programa Calib 7.0.2 (Stuiver *et al.*, 2005), combinado con perfiles de actividad de $^{226}Ra$, $^{210}Pb$ y $^{137}Cs$ para la parte superior del testigo (de Jong *et al.*, 2013). Conjuntamente con el desarrollo de la cronología, de Jong *et al.* (2013) recons-

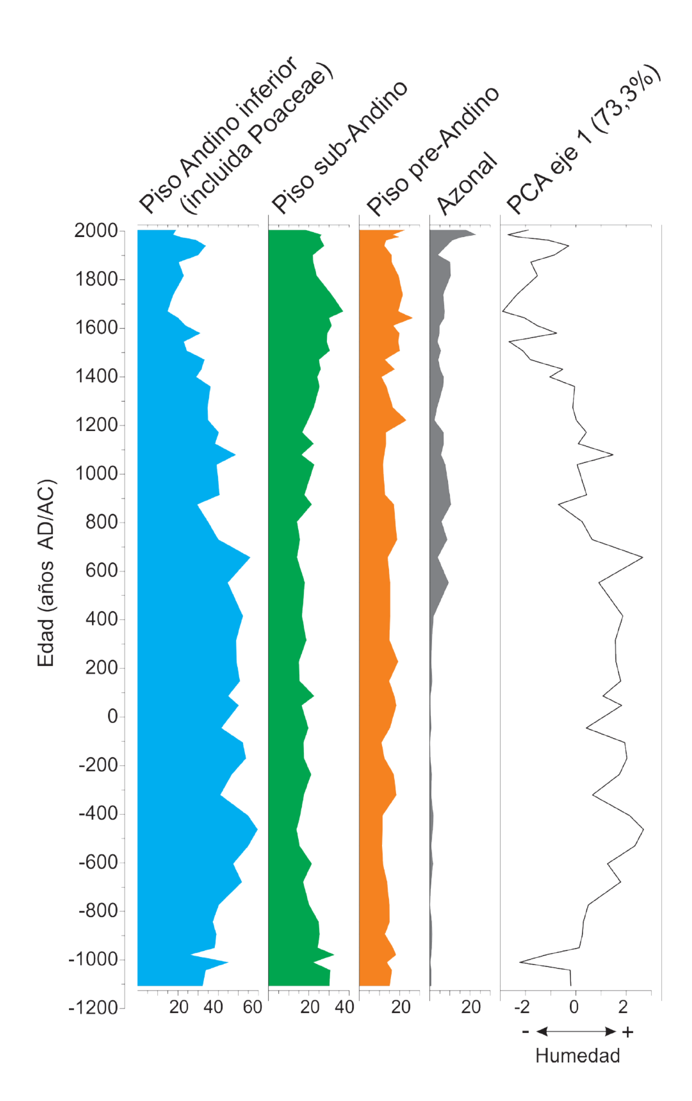



**Figura 5.** Diagrama polínico resumido de la Laguna Chepical (33° S) en el cual se han agrupado los tipos polínicos por pisos de vegetación (modificado de Martel-Cea *et al.*, 2016). El PCA eje 1 corresponde a los valores de las muestras sobre el primer eje del Análisis de Componentes Principales que acumula el 73,3% de la varianza y se ha interpretado como indicador de humedad.

truyeron, a partir del mismo testigo, la temperatura de verano a partir del análisis de la reflectancia en el rango de la luz visible (índice espectral R570/R630), la cual refleja el contenido de arcilla mineral en sedimentos lacustres. Martel-Cea *et al.* (2016) sumaron el análisis polínico, de partículas de carbón microscópico y de diatomeas y realizaron una reconstrucción multi-*proxy* de las condiciones paleoambientales y paleoclimáticas de esta zona de la DAS a escala de décadas y milenios. Dado que la laguna se encuentra ubicada biogeográficamente en la provincia Altoandina (Cabrera y Willink, 1973) y específicamente entre el piso de vegetación Andino inferior y el piso sub-Andino (Luebert y Pliscoff, 2006), un aumento en el porcentaje de tipos polínicos correspondientes al piso Andino inferior (piso sub-Andino) se relacionan con un aumento (disminución) en la precipitación.

El registro polínico de la Laguna Chepical muestra la dominancia de taxones del piso Andino inferior entre 1100 AC y 1 AD que sugiere un desplazamiento hacia menores alturas de los pisos de vegetación asociado a condiciones más húmedas que las actuales (Fig. 5). Entre 1 AD y 800 AD, el registro muestra el momento más húmedo del Holoceno Tardío con incremento en la frecuencia de incendios que estaría reflejando una alta estacionalidad o variabilidad interanual. Durante los siguientes 1.000 años, disminuye la proporción de elementos del piso Andino inferior con el concomitante aumento de aquellos de los pisos Sub y pre-Andinos reflejando un desplazamiento de los pisos hacia mayores alturas e indicando condiciones más secas aún que las actuales que llegan a su máximo entre 1545 y 1670 AD. Desde 1800 AD hasta 1960 AD (año en que se tomó el testigo) se registran nuevamente condiciones húmedas y frías que son reemplazadas alrededor de 1960 AD por condiciones más secas y similares al presente con mayor proporción de tipos polínicos de los pisos Sub y pre-Andinos.

Estos cambios paleoambientales concuerdan completamente con otros registros polínicos de Los Andes como el de la Laguna Grande y la Laguna Chica (32° S; 3.600 m s.n.m.; Maldonado *et al.*, 2005) y con aquellos de los bosques pantanosos costeros ubicados sobre la costa Pacífica (32° S; Maldonado y Villagrán, 2006), sugiriendo que estos cambios en humedad son de carácter regional y están relacionados con lluvias de invierno asociadas al sistema de lluvias de los vientos del oeste.

### *Dinámica paleoambiental de la meseta patagónica*

La Meseta Central de Santa Cruz (46°-49° S) es un área de particular importancia arqueológica por presentar varios sitios con ocupaciones humanas tempranas desde 12.700 cal. años AP (Cardich *et al.*, 1973; Cardich y Paunero, 1994; Miotti, 1998; Miotti y Salemme, 2004). Dado el potencial de las secuencias sedimentarias de los sitios arqueológicos de la Meseta Central, las cuevas y aleros se convirtieron en

los registros polínicos más analizados de esta zona de la DAS (Tab. 1) con el propósito de realizar reconstrucciones del ambiente y la vegetación desde el Pleistoceno Tardío (Prieto *et al.*, 2018 y bibliografía allí citada). Una de las localidades arqueológicas más exhaustivamente estudiadas fue Los Toldos (47° 29′ 57″ S; 68° 45′ 24″ O; 427 m s.n.m.), que se encuentra en un cañadón con orientación oeste-este por el fondo del cual fluye un curso de agua intermitente y que cuenta con varias cuevas en ambas laderas de ignimbrita, y de las cuales las más importantes en términos palinológicos fueron las cuevas 3 y 13 (Paez *et al.*, 1999; de Porras *et al.*, 2008, 2009; de Porras, 2010; Prieto *et al.*, 2018). En ambas cuevas se realizaron muestreos de múltiples perfiles en lugares donde la actividad humana no había sido intensiva de acuerdo con el registro arqueológico. Se realizó un análisis exhaustivo de la estratigrafía de cada perfil con el fin de correlacionarlos y obtener una cronología robusta a partir de dataciones radiocarbónicas. Complementariamente, se realizó el estudio de la tafonomía polínica en cada caso para determinar no solo las condiciones diferenciales de preservación y dispersión polínica por factores abióticos (agua, plantas en la entrada de las cuevas) sino además el potencial sesgo del registro polínico por causas antrópicas como la introducción de restos vegetales a las cuevas (leña o camadas), la destrucción del polen por el fuego (fogones) o la utilización de las cuevas como refugio para las ovejas en el siglo XX (de Porras *et al.*, 2008; de Porras, 2010). Sobre la base de esta metodología, se reconstruyeron la vegetación y las condiciones ambientales de la Meseta Central de Santa Cruz desde el Pleistoceno Tardío a partir de un perfil polínico integrado para la localidad, compuesto por los perfiles de las cuevas 3 y 13 (Fig. 6; de Porras,

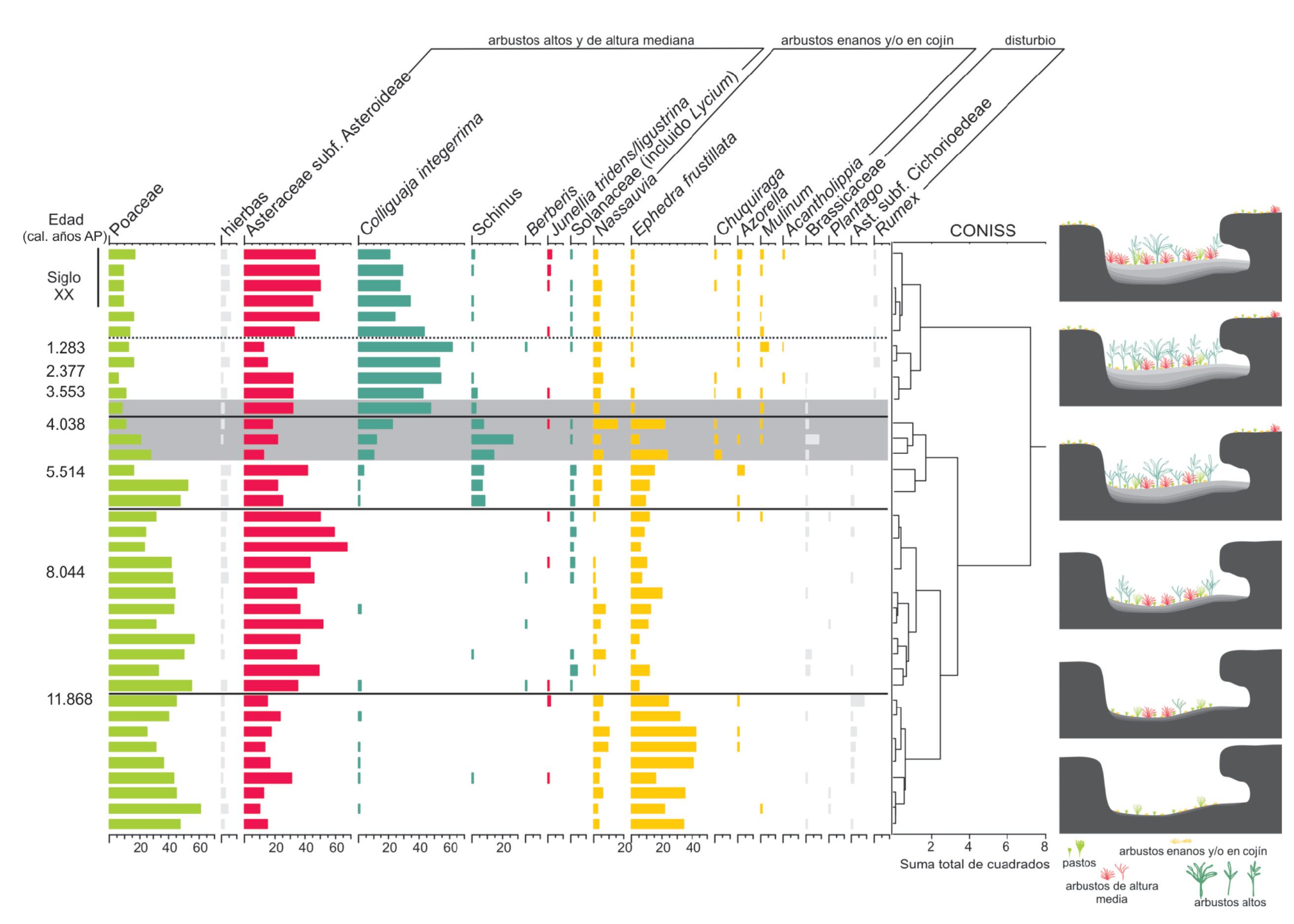



**Figura 6.** Diagrama polínico integrado en porcentajes de la localidad arqueológica Los Toldos y su interpretación gráfica en términos de cambios de la vegetación. La franja gris corresponde a una capa de ceniza volcánica de la erupción $H_2$ del volcán Hudson (Naranjo y Stern, 1998) (modificado de de Porras, 2010).

2010). De esta forma se estableció que a *ca.* 11.800 cal. años AP, una comunidad subarbustiva-graminosa relacionada con condiciones más frías que las actuales, pero bajo los mismos valores de precipitación, fue reemplazada por una comunidad arbustiva-graminosa que sugiere un aumento gradual de la temperatura hasta 5.500 cal. años AP, cuando la vegetación y las condiciones ambientales habrían sido similares a las actuales. A partir de *ca.* 4.000 cal. años AP, las comunidades arbustivas experimentaron un cambio como consecuencia de la caída de ceniza volcánica de la erupción $H_2$ del volcán Hudson, que afectó principalmente a las especies dominantes (Asteraceae subf. Asteroideae y *Colliguaja integerrima*). A comienzos del siglo XX, el registro polínico muestra un cambio asociado a las explotaciones ovinas que no habría ocurrido como efecto directo del pastoreo sino como consecuencia de la utilización de las cuevas para refugiar a las ovejas (de Porras *et al.*, 2008; de Porras, 2010).

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Los trabajos sobre palinología del Cuaternario tardío realizados a lo largo de la DAS han experimentado importantes avances desde la década de 1980, particularmente intensificados en los últimos 30 años. Si bien las diferentes zonas de la DAS presentan una concentración importante de registros polínicos fósiles, con excepción del Perú, aún resulta difícil en algunas áreas (*e.g.*, Cuyo, Patagonia norte) generar marcos paleoclimáticos y paleoambientales desde el Pleistoceno Tardío o bien faltan secuencias que abarquen todo el Holoceno a escala regional. Esto es consecuencia de que muchos de los ambientes depositacionales analizados en estas zonas áridas y semiáridas de América del Sur presentan discontinuidades, que existe una preservación diferencial del polen, una baja representatividad de la vegetación local *versus* regional, entre otros. Sin embargo, existen otras áreas (*e.g.*, desierto de Atacama, Altiplano, noroeste de la Argentina) donde no solo se ha podido establecer un marco paleoclimático, sino que además se ha discutido la dinámica climática pasada a una escala supra-regional (*e.g.*, Andes Centrales) relacionada con forzantes climáticos comunes (*e.g.*, precipitaciones de origen tropical). Así, y a partir de los tres casos de estudio presentados en este trabajo, los registros polínicos de la DAS han demostrado ser sensibles a la variabilidad ambiental y climática desde el Pleistoceno Tardío y han puesto de manifiesto la potencialidad de las zonas áridas y semiáridas para reconstruir la dinámica de los diferentes sistemas que determinan el clima de América del Sur.

Las metodologías utilizadas en los estudios polínicos a lo largo de la DAS no son muy diferentes a las aplicadas en otras áreas, pero requirieron ciertas modificaciones o adaptaciones para conseguir reconstrucciones más confiables y sólidas. En primer lugar, dadas las características de las comunidades vegetales, como es la dominancia de arbustos, arbustos en cojín y hierbas (incluidos los pastos) y especies principalmente entomófilas resultó necesario establecer las relaciones polen-vegetación actual y los patrones de dispersión polínica para comprender mejor las asociaciones polínicas fósiles. En segundo lugar, dadas las características de los ambientes depositacionales, como ambientes aluviales o vegas sobre los que crece la vegetación, los depósitos biogénicos como las madrigueras de roedores, o bien sitios arqueológicos con disturbio antrópico fue fundamental estudiar la tafonomía polínica, así como establecer un buen control cronológico de las secuencias. Además, el análisis complementario de otros indicadores independientes (litológicos, biológicos y/o geoquímicos) en las mismas secuencias fósiles (cuando fue posible) hicieron aún más confiables y sólidas las reconstrucciones.

La palinología del Cuaternario tardío a lo largo de la DAS ha experimentado un importante desarrollo en los últimos 30 años presentando una serie de desafíos por las características particulares de sus comunidades vegetales, de sus ambientes depositacionales y por las adaptaciones que los investigadores han tenido que aplicar a los diseños y técnicas de muestreo, al procesamiento y análisis de los registros polínicos para obtener reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas en la DAS. En el futuro consideramos que sería importante investigar cuali y cuantitativamente las dinámicas paleoclimáticas de las áreas de la DAS que aún no se han establecido y discutirlas a una escala supraregional con el objetivo de entender integralmente el comportamiento de este rasgo geográfico y climático de América del Sur durante el Cuaternario tardío.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dra. Liliana Lupo por proveer valiosa información sobre los registros polínicos del noroeste de la Argentina y a los Dres. Leandro Rojo y Frank Schäbitz por sus valiosos y constructivos comentarios como revisores. Por último, agradecemos a los proyectos FONDECYT#11150089 (MEdP), FONDECYT# 1140837 (AM) y CONICYT-PIA SOC1405 (MEdP y AM) por el apoyo financiero.

## REFERENCIAS

Abraham, E.M., Garleff, K., Liebricht, H., *et al.* 2000. Geomorphology and paleoecology of the arid diagonal in Southern South America. *Zeitschrift für Angewandte Geologie: Sonderheft* SH 1: 55–61.

Anderson R.S. y Van Devender, T.R. 1991. Comparison of pollen and macrofossils in packrat (Neotoma) middens: a chronological sequence from the Waterman Mountains of southern Arizona, U.S.A. *Review of Palaeobotany and Palynology* 68: 1–28.

Arroyo, M.T.K., Squeo, F.A., Armesto, J.J. y Villagrán, C. 1988. Effects of aridity on plant diversity in the northernchilean andes: results of a natural experiment. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 75: 55–78.

Baied, C.A. y Wheeler, J.C. 1993. Evolution of high Andean Puna ecosystems; environment, climate, and culture change over the last 12,000 years in the Central Andes. *Mountain Research and Development* 13: 145–156.

Betancourt, J.L., Latorre, C., Rech, J.A., Quade, J. y Rylander, K.A. 2000. A 22,000-year record of monsoonal precipitation from Northern Chile's Atacama Desert. *Science* 289: 1542–1546.

Betancourt, J.L. y Saavedra, B. 2002. Paleomadrigueras de roedores, un nuevo método para el estudio del Cuaternario de zonas áridas de Sudamérica. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 527–546.

Birks, H.J.B. y Gordon, A.D. 1985. *Numerical methods in Quaternary pollen analysis*. Academic Press, Londres, 317 p.

Blaauw, M. y Christen, J.A. 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis* 6: 457–474.

Borromei, A. 2003. Palynology at Piedra Museo locality, Santa Cruz Province, Argentina. En: L. Miotti, M. Salemme, y N. Flegenheimer (Eds.), *Where the south winds blow. Ancient evidence of Paleo South Americans*. Center for the study of the First Americans (CSFA), Texas A & M University Press, p. 113–120.

Bruniard, E.D. 1982. La diagonal árida argentina: un límite climático real. Revista Geográfica. *Instituto Panamericano de Geografía e Historia de México* 95: 5–19.

Burry, L.S., D'Antoni, L.D. y Frangi, J.L. 2005. Polen y vegetación en la Patagonia extraandina argentina a 45° S. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 62: 143–152.

Cabrera, A.L. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 14: 1–50.

Cabrera, A.L. y Willink, A. 1973. *Biogeografía de América Latina*. Monografía 13, Serie de Biología, OEA, Washington D.C., 117 p.

Cardich, A., Cardich, L. y Hadjuk, A. 1973. Secuencia arqueológica y cronología radiocarbónica de la cueva 3 de Los Toldos (Santa Cruz, Argentina). *Relaciones Sociedad Argentina de Antropología* 7: 87–122.

Cardich, A. y Paunero, R. 1994. Mid-Holocene herding in Central Patagonia. *Research & Exploration* 10: 368–369.

Cavieres, L.A., Peñaloza, A. y Arroyo, M.T.K. 2000. Altitudinal vegetation belts in the high Andes of central Chile (33°S). *Revista Chilena de Historia Natural* 73: 331–344.

Collao-Alvarado, K., Maldonado, A., González, L. *et al.* 2015. Estudio de la relación polen-vegetación actual en el Norte de Chile, en el transecto Pozo Almonte-Salar de Huasco (20° 15′ S; 69° 06′ O). *Gayana Botánica* 72: 125–136.

D'Antoni, H.L. 1983. Pollen analysis of Gruta del Indio. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 1: 83–104.

Davis, O.K. y Anderson, R.S. 1987. Pollen in packrat (*Neotoma*) middens: pollen transport and the relationship of pollen to vegetation. *Palynology* 11: 185–198.

de Porras, M.E. 2010. [*Dinámica de la vegetación de la Meseta Central de Santa Cruz durante los últimos 11.000 años a partir del análisis polínico: forzantes bióticos y abióticos.* Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, p. 137. Inédita.].

de Porras, M.E., Maldonado, A., De Pol-Holz, R., *et al.* 2017. Late Quaternary environmental dynamics in the Atacama Desert reconstructed from rodent midden pollen records. *Journal of Quaternary Science* 32: 665–684.

de Porras, M.E., Maldonado, A., Zamora-Allendes, A. y Latorre, C. 2015. Calibrating the pollen signal in modern rodent middens from northern Chile to improve the interpretation of the late Quaternary midden record. *Quaternary Research* 84: 301–311.

de Porras, M.E., Mancini, M.V. y Prieto, A.R. 2008. Cambios de la vegetación del cañadón de Los Toldos (Santa Cruz) durante el Holoceno medio-tardío en relación con las variaciones climáticas y las ocupaciones humanas. En: F. Morello, M. Martinic, A. Prieto, y G. Bahamonde (Eds.), *Arqueología de Fuego-Patagonia. Levantando piedras, desenterrando huesos... y develando arcanos.* Ediciones CEQUA, Punta Arenas, p. 53–60.

de Porras, M.E., Mancini, M.V. y Prieto, A.R. 2009. Vegetation changes and human occupation in the Patagonian steppe, Argentina, during the late Holocene. *Vegetation History and Archaeobotany* 18: 235–244.

de Porras, M.E., Mancini, M.V. y Prieto, A.R. 2011. Modern pollen analysis in caves at the Patagonian steppe, Argentina. *Review of Palaeobotany and Palynology* 166: 335–343.

Díaz, F.P., Latorre, C., Maldonado, A., Quade, J. y Betancourt, J.L. 2012. Rodent middens reveal episodic, long-distance plant colonizations across the hyperarid Atacama Desert over the last 34,000 years. *Journal of Biogeography* 39: 510–525.

de Jong, R., von Gunten, L., Maldonado, A. y Grosjean, M. 2013. Late Holocene summer temperatures in the central Andes reconstructed from the sediments of high elevation Laguna Chepical, Chile (32° S). *Climate of the Past* 9: 1921–1932.

Erdtman, O.G.E. 1921. Pollenanalytische Untersuchungen von Torfmooren und marinen Sedimenten in Südwest-Schweden. *Arkiv für Botanik* 17:1–173.

Erdtman, O.G.E. 1943. An Introduction to Pollen Analysis. En: F. Verdoorn (Ed.), *A new series of plant science books 12.* Chronica Botanica Company, Waltham, 239 p.

Fægri, K. e Iversen, J. 1989. *Textbook of pollen analysis. 4th. Edn.* John Wiley & Sons, Chichester, 314 p.

Fernández, J., Markgraf, V., Paranello, H., *et al.* 1991. Late Pleistocene/Early Holocene Environments and Climates, Fauna, and Human Occupation in the Argentine Altiplano. *Geoarchaeology: An International Journal* 6: 251–272.

Garleff, K. y Stingl, H. 1998. *Landschaftsentwicklung, Paläoökologie und Klimageschichte der Ariden Diagonaler Südamerikas im Jungquartär.* Bamberger Geographische Schriften Heft 15 Bamberg, 401 p.

Garleff, K., Schäbitz, F., Stingl, H. y Veit, H. 1991. Jungquartäre Land-

schaftsentwicklung und Klimageschichte beiderseits der Ariden Diagonale Südamerikas. *Bamberger Geographische Schriften* 11: 359–394.

Garralla, S. 2003. Análisis polínico de una secuencia sedimentaria del Holoceno Tardío en el Abra del Infiernillo, Tucumán, Argentina. *Polen* 12: 53–63.

Garreaud, R. 2009. The Andes climate and weather. *Advances in Geosciences* 7: 1–9.

Garreaud, R., Lopez, P., Minvielle, M. y Rojas, M. 2013. Large Scale Control on the Patagonia Climate. *Journal of Climate* 26: 215–230.

Garreaud, R.D., Rutllant, J.A. y Fuenzalida, H. 2002. Coastal lows along the Subtropical West coast of South America: Mean structure and evolution. *Monthly Weather Review* 130: 75–88.

Garreaud, R.D., Vuille, M. y Clement, A. 2003. The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 304: 1–18.

Gayo, E.M., Latorre, C., Jordan, T.E., *et al.* 2012a. Late Quaternary hydrological and ecological change in the hyperarid core of the northern Atacama Desert (21° S). *Earth-Sciences Review* 113: 120–140.

Gayo, E., Latorre, C., Santoro, C., Maldonado, A. y De Pol-Holz, R. 2012b. Hydroclimate variability in the low-elevation Atacama Desert over the last 2500 years. *Climate of the Past* 8: 287–306.

Geyh, M.A., Grosjean, M., Núñez, L. y Schotterer, U. 1999. Radiocarbon reservoir effect and the timing of the Late-Glacial/Early Holocene humid phase in the Atacama Desert (northern Chile). *Quaternary Research* 52: 143–153.

Geyh, M., Schotterer, U. y Grosjean, M. 1998. Temporal changes of the $^{14}C$ reservoir effect in lakes. *Radiocarbon* 40: 921–931.

González-Silvestre, L., Maldonado, A., Núñez, L., Cartajena, I., Carrasco, C. y de Souza, P. 2013. Condiciones paleovegetacionales y asentamientos humanos durante el formativo temprano: análisis de polen del sitio Tulán-85 (1.530/1.260-460/420 años cal. A.c.), cuenca del Salar de Atacama. *Chungará* 45: 387–410.

Graf, K. 1992. Pollendiagramme aus den Anden. Eine Synthese zur Klimageschichte und Vegetationsentwicklung seit der letzten Eiszeit. *Physische Geographie* 34: 1–135.

Grosjean, M. 1994. Paleohydrology of the Laguna Lejia (north Chilean Altiplano) and climatic implications for late-glacial times. *Palaeogeoraphy, Palaeclimatology, Palaeoecology* 109: 89–100.

Grosjean, M., Cartajena, I., Geyh, M.A. y Nuñez, L. 2003. From proxy data to paleoclimate interpretation: the mid–Holocene paradox of the Atacama Desert, northern Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194: 247–258.

Grosjean, M., van Leeuwen, J.F.N., van der Knaap, W.O., *et al.* 2001. A 22,000 14C year BP sediment and pollen record of climate change from Laguna Miscanti (23°S), northern Chile. *Global and Planetary Change* 28: 35–51.

Guerci, A. 2016. [*Reconstrucción del clima y la vegetación durante el Holoceno en el rio Atuel, sur de Mendoza.* Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, 89 p. Inédita.].

Hansen, B.C.S. y Rodbell, D.T. 1995. A Late-Glacial/Holocene pollen record from the eastern Andes of the northern Peru. *Quaternary Research* 44: 216–227.

Hansen, B.C.S., Wright, J.R. y Bradbury, J.P. 1984. Pollen studies in the Junín area, central Peruvian Andes. *Geological Society of America Bulletin* 95: 1454–1465.

Hogg, A.G., Hua, Q., Blackwell, P.G., *et al.* 2013. SHCal13 Southern Hemisphere Calibration, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55: 1889–1903. Doi: 10.2458/azu_js_rc.55.16783.

Horowitz, A. 1992. *Palynology of arid lands*. Elsevier, Amsterdam, 546 p.

Houston, J. y Hartley, A. 2003. The central Andean west-slope rainshadow and its potential contribution to the origin of hyperaridity in the Atacama Desert. *International Journal of Climatology* 23: 1453–1464.

King, J.E. y Van Devender, T.R. 1977. Pollen analysis of fossil packrat middens from the Sonoran Desert. *Quaternary Research* 8: 191–204.

Kulemeyer, J. 2005. [*Holozäne Landschaftsentwicklung im Einzugsgebiet des Rio Yavi (Jujuy/Argentina)*. Tesis Doctoral, Facultad de Biología, Química y Ciencias de la Tierra, Universidad de Bayreuth, Bayreuth, Alemania, 155 p. Inédita.].

Kulemeyer, J. y Lupo, L. 1998. Evolución del paisaje bajo influencia antrópica durante el Holoceno Superior. Borde oriental de la Puna, Jujuy, Argentina. *Bamberger Geographische Schriften* 15: 263–276.

Kulemeyer, J., Lupo, L., Madozzo Jaén, M., *et al.* 2013. Desarrollo del paisaje Holoceno en la cuenca de El Bolsón: gente y ambiente en procesos de cambio y estabilidad. *Revista Diálogo Andino* 41: 25–45.

Latorre, C., Betancourt, J.L. y Arroyo, M.T.K. 2006. Late Quaternary vegetation and climate history of a perennial river canyon in the Río Salado basin (22°S) of Northern Chile. *Quaternary Research* 65: 450–466.

Latorre, C., Betancourt, J.L., Rylander, K.A. y Quade, J. 2002. Vegetation invasions into absolute desert: A 45,000 yr rodent midden record from the Calama-Salar de Atacama basins, northern Chile (lat 22°–24°S). *Geological Society of America Bulletin* 114: 349–366.

Latorre, C., Betancourt, J.L., Rylander, K.A., Quade, J. y Matthei, O. 2003. A vegetation history from the arid prepuna of northern Chile (22–23° S) over the last 13,500 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194: 223–246.

Latorre, C., Santoro, C.M., Ugalde, P.C., *et al.* 2013. Late Pleistocene human occupation of the hyperarid core in the Atacama Desert, northern Chile. *Quaternary Science Reviews* 77: 19–30.

León, R.J.C., Bran, D., Collantes, M., Paruelo, J.M. y Soriano, A. 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología Austral* 8: 125–144.

Luebert, F. y Gajardo, R. 2004. Antecedentes sobre la vegetación de la Cordillera de los Patos, Andes de Chile central (Región de Valparaíso,V). *Chloris Chilensis* 7. URL:http://www.chlorischile.cl-344.

Luebert, F. y Pliscoff, P. 2006. *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago, 384 p.

Lupo, L.C. 1998. [*Estudio sobre la lluvia polínica actual y la evolución del paisaje a través de la vegetación durante el Holoceno en la cuenca del río Yavi. Borde Oriental de la Puna, Noroeste argentino.* Tesis Doctoral, Universidad de Bamberg, Bamberg, 87 p. Inédita.].

Lupo, L., Bianchi, M., Aráoz, E. *et al.* 2006. Climate and human impact during the past 2000 years as recorded in the Lagunas de Yala, Jujuy, northwestern Argentina. *Quaternary International* 158: 30–43.

Lupo, L., Morales, M., Yacobaccio, H., Maldonado, A. y Grosjean, M. 2007. Cambios Ambientales en la Puna Jujeña durante los últimos 1200 años: Explorando su impacto en la economía pastoril. *16° Congreso Nacional de Arqueología Argentina* (Jujuy), *Actas* 3: 151–156.

Lupo, L., Torres, G. Fierro, P. *et al.* 2018. El disturbio antrópico en los registros polínicos de montaña durante el Cuaternario tardío en

el noroeste argentino. En: A.R. Prieto (Ed.), *Metodologías y estrategias del análisis palinológico del Cuaternario tardío. Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina* 18: 39–53.

Maldonado, A., Betancourt, J.L., Latorre, C. y Villagrán, C. 2005. Pollen analyses from a 50,000-yr rodent midden series in the Southern Atacama Desert (25° 30' S). *Journal of Quaternary Science* 20: 493–507.

Maldonado, A., Cardenas, D., Martel-Cea, J.A., Schittek, K., de Porras, M.E. y Moreiras, S.M. 2015. High altitude vegetation and climate change of the Subtropical Andes of Chile (32°S) during the last 15ka. *19° INQUA Congress, Quaternary Perspectives on Climate Change, Natural Hazards and Civilization*. (Nagoya), T23–05.

Maldonado, A., de Porras, M.E. y Collao, K. 2016. Modern pollen rainfall from the Chilean Andes (18–33° S) and its application in palaeoclimatic reconstructions. *14° International Palynological Congress, 10° International Organisation of Palaeobotany Conference* (Salvador), Boletín de la Asociación Latinoamericana de Paleobotánica y Palinología 16: 314.

Maldonado, A., Méndez, C., Ugalde, P., Jackson, D., Seguel, R. y Latorre, C. 2010. Early Holocene climate change and the first peopling of the semiarid coast of northern Chile. *Journal of Quaternary Science* 25: 985–988.

Maldonado, A. y Villagrán, C. 2002. Paleoenvironmental changes in the semiarid coast of Chile (~32° S) during the last 6200 cal years inferred from a swamp-forest pollen record. *Quaternary Research* 58: 130–138.

Maldonado, A. y Villagrán, C. 2006. Climate variability over the last 9900 cal yr BP from a swamp forest pollen record along the semiarid coast of Chile. *Quaternary Research* 66: 246–258.

Mancini, M.V. 1993. Recent pollen spectra from forest and steppe of South Argentina: a comparison with vegetation and climate data. *Review of Palaeobotany and Palynology* 77: 129–142.

Mancini, M.V. 1998. Vegetational changes during the Holocene in Extra-Andean Patagonia, Santa Cruz Province, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 138: 207–219.

Mancini, M.V., Paez, M.M., Prieto, A.R., Stutz, S., Tonello, M.S. y Vilanova, I. 2005. Mid-Holocene climatic variability reconstruction from pollen records (32°–52° S, Argentina). *Quaternary International* 132: 47–59.

Manten, A.A. 1967. Lennart Von Post and the foundation of modern palynology. *Review of Paleobotany and Palynology* 1: 11–22.

Markgraf, V. 1983. Late and postglacial vegetational and paleoclimatic changes in subantartic, temperate, and arid environments in Argentina. *Palynology* 7: 43–63.

Markgraf, V. 1985. Paleoenvironmental history of the last 10.000 years in Northwestern Argentina. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie* 1: 1739–1748.

Markgraf, V., Betancourt, J. y Rylander, K.A. 1997. Late-Holocene rodent middens from Rio Limay, Neuquen Province, Argentina. *The Holocene* 7: 325–329.

Markgraf, V., Bradbury, P., Schwalb, A., *et al.* 2003. Holocene palaeoclimates of southern Patagonia: limnological and environental history of Lago Cardiel, Argentina. *The Holocene* 13: 581–591.

Markgraf, V., Webb, R.S., Anderson, K.H. y Anderson, L. 2002. Modern pollen/climate calibration for southern South America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 181: 375–397.

Marquet, P.A., Santoro, C.M., Latorre, C., *et al.* 2012. Emergence of social complexity among coastal hunter-gatherers in the Atacama Desert of northern Chile. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109: 14754–14760.

Martel-Cea, J.A., Maldonado, A., Grosjean M., *et al.* 2016. Late Holocene environmental changes as recorded in the sediments of high Andean Laguna Chepical, Central Chile (32° S; 3050 m a.s.l.). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 461: 44–54.

Méndez, C., Gil, A. Neme, G., *et al.* 2015. Mid Holocene radiocarbon ages in the Subtropical Andes (~29° to 35° S), climatic change and implications on human space organization. *Quaternary International* 356: 15–26.

Minvielle, M. y Garreaud, R. 2011. Projecting rainfall changes over the South American Altiplano. *Journal of Climate* 24: 4577–4583.

Miotti, L. 1998. *Zooarqueología de la meseta central y costa de Santa Cruz: un enfoque de las estrategias adaptativas aborígenes y los paleoambientes*. Museo Municipal de Historia Natural, San Rafael, 306 p.

Miotti, L. y Salemme, M. 2004. Poblamiento, movilidad y territorios entre las sociedades cazadoras-recolectoras de Patagonia. *Complutum* 15: 177–206.

Moreira-Muñoz, A. 2011. *Plant Geography of Chile. Springer Series: Plant and Vegetation 5*. Springer, New York, 320 p.

Mujica, I., Latorre, C., Maldonado, A., *et al.* 2015. Late Quaternary climate change, relict populations and present-day refugia in the northern Atacama Desert: a case study from Quebrada La Higuera (18° S). *Journal of Biogeography* 42: 76–88.

Muñoz, M., Moreira, A., Villagrán, C. y Luebert, F. 2000. Caracterización florística y pisos de vegetación en los Andes de Santiago, Chile central. *Boletín del Museo Nacional de Historia* 49: 9–50.

Naranjo, J.A. y Stern, C.R. 1998. Holocene explosive activity of the Hudson volcano, southern Andes. *Bulletin of Volcanology* 59: 291–306.

Navarro, D., Mehl, A., Zárate, M.A. y Paez, M.M. 2010. Mid-late Holocene environments of Agua Buena locality (34° 50' S; 69° 56' W), Mendoza, Argentina. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 9: 12–14.

Navarro, D., Rojo, L., De Francesco, C.G. y Hassan, G.S. 2012. Paleoecología y reconstrucciones paleoambientales en Mendoza durante el Holoceno. En: G. Neme y A. Gil (Eds.), *Paleoecología humana en el sur de Mendoza: perspectivas arqueológicas.* Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires, p. 17–56.

Núñez, L., Cartajena, I. y Grosjean, M. 2013. Archaeological silence and ecorefuges: arid events in the Puna of Atacama during the Middle Holocene. *Quaternary International* 307: 5–13.

Nuñez, L., Grosjean, M. y Cartajena, I. 2002. Human occupations and climate change in the Puna de Atacama, Chile. *Science* 298: 821–824.

Oxman, B. 2015 [*Paleoambiente y sociedad durante el Holoceno en la Puna Seca Argentina: un abordaje arqueopalinológico*. Tesis doctoral, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 258 p. Inédita.].

Oxman, B., Tchilinguirian, P., Yacobaccio, H. y Lupo, L. 2013. Primeros estudios paleoambientales en Lapao 2 (Puna Seca) y la señal de la Pequeña Edad de Hielo. *Anuario de Arqueología. Departamento de Arqueología, UNR* 5: 375–390.

Oxman B., Tchilinguirian, P., Yacobaccio, H. y Lupo, L. 2016. Nuevos análisis paleoambientales y sus implicancias arqueológicas durante la Pequeña Edad de Hielo en la Puna. *Dossier Estudios sociales del NOA* 16: 13–37.

Paez, M.M. 1991. [*Palinología de Campo Moncada 2 (Chubut): interpretación paleoecológica para el Holoceno*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 275 p. Inédita.].

Paez, M.M., Navarro, D., Rojo, L. y Guerci, A. 2010. Vegetación y pa-

leoambientes durante el Holoceno en Mendoza. En: M.A. Zárate, A. Gil, y G. Neme (Eds.), *Condiciones paleoambientales y ocupaciones humanas durante la transición Pleistoceno-Holoceno y Holoceno de Mendoza.* Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires, p. 175–211.

Paez, M.M., Prieto, A.R. y Mancini, M.V. 1999. Fossil pollen from Los Toldos locality: A record of the Late-glacial transition in the Extra-Andean Patagonia. *Quaternary International* 53–54: 69–75.

Paez, M.M., Schäbitz, F. y Stutz, S. 2001. Modern pollen-vegetation and isopoll maps in southern Argentina. *Journal of Biogeography* 28: 997–1021.

Prentice, I.C. 1985. Pollen representation, source area, and basin size: toward a unified theory of pollen analysis. *Quaternary Research* 23: 76–86.

Prentice, I.C. 1988. Records of vegetation in time and space: the principles of pollen analysis. En: B. Huntley y T. Webb III (Eds.), *Vegetation History*. Kluwer, La Haya, p. 17–42.

Prieto, A.R., Mancini, M.V., de Porras, M.E., Bamonte F.P. y Marcos, M.A. 2018. Arqueopalinología: una revisión del análisis polínico en el contexto de sitios arqueológicos de sociedades de cazadores-recolectores de la Argentina (32°-52° S). En: A.R. Prieto (Ed.), *Metodologías y estrategias del análisis palinológico del Cuaternario tardío. Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina* 18: 54–76.

Prieto, A.R. y Stutz, S. 1996. Vegetación del Holoceno de la estepa Patagónica: palinología de la cueva Epullán Grande (Neuquén). *Praehistoria* 2: 267–277.

Quade, J., Rech, J.A., Betancourt, J.L., *et al.* 2008. Paleowetlands and regional climate change in the central Atacama Desert, northern Chile. *Quaternary Research* 69: 343–360.

Rech, J.A., Quade, J. y Betancourt, J.L. 2002. Late Quaternary paleohydrology of the central Atacama Desert. *Geological Society of America Bulletin* 114: 334–348.

Roig, F.A. 1998. La vegetación de la Patagonia. En: M.N. Correa (Ed.), *Flora Patagónica*. Colección Científica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria 8: 48–166.

Rojo, L.D. 2003. Análisis palinológico-sedimentológico del Holoceno Superior de Salinas del Bebedero (San Luis, Argentina): primeros resultados. *Revista del Museo de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Nueva Serie* 5: 285–289.

Rojo, L.D. 2009. [*Condiciones paleoambientales durante el Holoceno entre los 33°–34° S (Mendoza y San Luis)*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, p. 132. Inédita.].

Rojo, L.D., Mehl, A.E., Paez, M.M. y Zárate, M.A. 2012a. Mid- to Late Holocene pollen and alluvial record of the arid Andean piedmont between 33° and 34° S, Mendoza, Argentina: Inferences about floodplain evolution. *Journal of Arid Environments* 77: 110–122.

Rojo, L., Paez, M.M., Chiesa, J.O., Strasser, E.N. y Schäbitz, F. 2012b. Palinología y condiciones paleoambientales durante los últimos 12.600 cal. años en Salinas del Bebedero (San Luis, Argentina). *Ameghiniana* 49: 427–441.

Rozas, E. 2012. [*Cambios vegetacionales y paleoclima del Valle del Río Huasco (29°S) durante el Holoceno inferidos a partir del análisis de polen preservado en paleomadrigueras de roedores*, Tesis de Maestría, Universidad de La Serena, La Serena, 63 p. Inédita.].

Rundel, P.W., Dillon, M.O., Palma, B., Mooney, H.A., Gulmon, S.L. y Ehleringer, J.R. 1991. The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian deserts. *Aliso* 13: 1–49.

Rutlland, J. y Ulriksen, P. 1979. Boundary layer dynamics of the extremely arid northern Chile: the Antofagasta field experiment. *Boundary Layer Meteorology* 17: 13–33.

Sáez, A., Godfrey, L.V., Herrera, C., Chong, G. y Pueyo, J.J. 2016. Timing of wet episodes in Atacama Desert over the last 15 ka. The Ground Water Discharge Deposits (GWD) from Domeyko Range at 25° S. *Quaternary Science Reviews* 145: 82–93.

Schäbitz, F. 1989. Untersuchungen zum aktuellen Pollenniederschlag und zur holozänen Klima- und Vegetationsentwicklung in den Andean Nord-Neuquéns, Argentinien. *Bamberger Geographische Schriften* 8: 1–131.

Schäbitz, F. 1999. Paläoökologische Untersuchungen an geschlossenen Hohlformen in den Trockengebieten Patagoniens. *Bamberger Geographische Schriften* 17: 1–239.

Schäbitz, F. 2000. Vegetation and climate history of the eastern flank of the Sierra de Santa Victoria, Jujuy Province, NW-Argentina (first results). *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie* 7–8: 969–984.

Schäbitz, F. y Liebricht, H. 1998. Landscape and climate development in the south-eastern part of the "Arid Diagonal" during the last 13,000 years. En: K. Garleff y H. Stingl (Eds.), *Landschaftsentwicklung, Paläoökologie und Klimageschichte der Ariden Diagonale Südamerikas im Jungquartär.* Bamberger Geographische Schriften Heft 15, Bamberg, p. 371–388.

Schäbitz F., Lupo, L., Kulemeyer, J.J. y Kulemeyer J.A. 2001. Variaciones de la vegetación, el clima y la presencia humana en los últimos 15.000 años en el Borde Oriental de la Puna, provincias de Jujuy y Salta, Noroeste Argentino. *Publicación Especial de la Asociación Paleontológica Argentina* 8: 125–130.

Schäbitz, F., Wille, M., Francois, J.P., *et al.* 2013. Reconstruction of palaeoprecipitation based on pollen transfer functions – the record of the last 16 ka from Laguna Potrok Aike, southern Patagonia. *Quaternary Science Reviews* 71: 175–190. Doi: 10.1016/j.quascirev.2012.12.006.

Schittek, K. 2014. Cushion peatlands in the high Andes of northwest Argentina as archives for palaeoenvironmental research. *Dissertationes Botanicae* 412: 1–176.

Schittek, K., Forbriger, M., Mächtle, B., *et al.* 2015. Holocene environmental changes in the highlands of the southern Peruvian Andes (14° S) and their impact on pre-Columbian cultures, 2015. *Climate of the Past* 11: 27–44. Doi: 10.5194/cp-11-27-2015.

Schittek, K., Kock, S., Lücke, A., *et al.* 2016. A high-altitude peatland record of environmental changes in the NW Argentine Andes (24° S) over the last 2100 years. *Climate of the Past* 12: 1165–1180.

Srur, A. 2002. [*Condiciones paleoambientales durante el Holoceno tardío en la Precordillera (Mendoza)*. Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, 67 p. Inédita.].

Stinnesbeck, S. 2014. [*Holozäner Klimawandel und Mensch-Umwelt-Interaktionen in den Hochanden von Nordwest-Argentinien.*Tesis de Maestría, Universidad de Colonia, Alemania, 103 p. Inédita.].

Stuiver, M., Reimer, P.J. y Reimer, R.W. 2005. CALIB 7.0.2 program.

Sugita, S. 1993. A model of pollen source area for an entire lake surface. *Quaternary Research* 39: 239–244.

Sugita, S., Gaillard, M.-J. y Broström, A. 1999. Landscape openness and pollen records: a simulation approach. *The Holocene* 9: 409–421.

Tchilinguirian, P., Morales, M.R., Oxman, B., Lupo, L.C., Olivera, D.E. y Yacobaccio, H.D. 2014. Early to Middle Holocene transition in the Pastos Chicos record, dry Puna of Argentina. *Quaternary International* 330: 171–182.

Tiner, R.J., Negrini, R.M., Antinao, J.L., McDonald, E. y Maldonado, A.

2018. Geophysical and geochemical constraints on the age and paleoclimate implications of Holocene lacustrine cores from the Andes of central Chile. *Journal of Quaternary Science* 33: 150–165.

Thompson, R.S. 1985. Palynology and *Neotoma* middens. *American Association of Stratigraphic Palynology Contribution Series* 16: 89–112.

Tonello, M.S., Mancini, M.V. y Seppä, H. 2009. Quantitative reconstruction of Holocene precipitation changes in southern Patagonia. *Quaternary Research* 72: 410–420.

Torres, G., Lupo, L., Kulemeyer, J. y Pérez, C. 2016. Palynological evidence of the geoecological belts dynamics from Eastern Cordillera of NW Argentina (23° S) during the Pre-Last Glacial Maximum. *Andean Geology* 43: 151–165.

Torres, G., Lupo, L. y Pérez, C. 2011. Transporte y depósito polínico arbóreo entre las Sierras Subandinas y la Cordillera Oriental de Jujuy. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 46 *(Suplemento)*: 265.

Veit, H. y Garleff, K. 1995. Evolución del paisaje Cuaternario y los suelos en Chile centro-sur. En: J.J. Armesto, C. Villagrán, y M.K. Arroyo (Eds.), *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago, p. 363–387.

Viale, M. y Garreaud, R. 2014: Summer precipitation events over the western slope of the subtropical Andes. *Monthly Weather Review* 142: 1074–109.

Villagrán, C. y Hinojosa, L.F. 1997. Historia de los bosques del sur de Sudamérica II: análisis biogeogáfico. *Revista Chilena de Historia Natural* 70: 241–267.

Villagrán, C., Kalin-Arroyo, M.T. y Marticorena, C. 1983. Efectos de la desertización en la distribución de la flora andina de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 56: 137–157.

Villagrán, C. y Varela, J. 1990. Palynological evidence for increased aridity on the Central Chilean coast during the Holocene. *Quaternary Research* 34: 198–207.

Villa-Martínez, R. y Villagrán, C. 1997. Historia de la vegetación de bosques pantanosos de la costa de Chile central durante el Holoceno medio y tardío. *Revista Chilena de Historia Natural* 70: 391–401.

**Doi:** 10.5710/PEPAPA.08.07.2018.255

**Recibido:** 15 de octubre de 2017
**Aceptado:** 8 de julio de 2018